

Prof. Adir Moysés Luiz

Instituto de Física

Licenciatura Noturna de Física



PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO

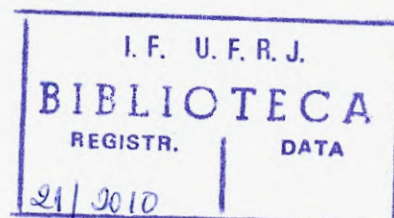
AULAS DE HIDROSTÁTICA E HIDRODINÂMICA

Aluno: Jonatas Henrique Pinheiro do Lago

Orientador: Prof. Adir Moysés Luiz

JUNHO DE 2010

21/2010



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e a minha família por me apoiarem no decurso de minha vida, pois, em virtude deles foi que entendi a importância da educação. Agradeço à minha esposa por incentivar, por nunca me deixar desistir, por sempre ter sido uma grande parceira de todas as horas. Aos professores que me possibilitaram a oportunidade de crescer, tanto como estudante, quanto como pessoa com seus conselhos enriquecedores. Agradeço aos meus colegas pelas trocas de experiência, pelas indicações de livros que somaram muito à minha formação.

Acima de tudo agradeço a Deus.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade de se trabalhar os assuntos: Hidrostática e Hidrodinâmica (Capítulo II) para aluno do ensino médio tendo como base as experiências vividas em sala com alunos do ensino fundamental. Primeiramente fizemos uma bateria de experimentos relacionados ao assunto. Depois analisamos seus conhecimentos prévios por meio de um questionário sem mencionarmos qualquer palavra que pudesse dar dica daquilo que trabalhávamos.

Após esta etapa, ministramos cada tópico das disciplinas supracitadas baseado nos resultados do questionário. No capítulo III, falamos um pouco das aplicações da Hidrostática e da Hidrodinâmica, bem como a evolução destas aplicações ao longo do tempo. No Capítulo IV, exibiremos alguns experimentos para serem utilizados em sala de aula que visam respeitar, sempre que possível, a sequência dos tópicos das disciplinas.

E no Capítulo V, faremos um breve comentário sobre a aplicação do método, expondo eventuais dificuldades encontradas ao longo do processo.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	01
1.2 – OBSERVAÇÕES NECESSÁRIAS A APLICAÇÃO DO MODELO ...	02
1.3 – OBJETIVOS E CONTEÚDO DO TRABALHO.....	03
1.4 – PÚBLICO ALVO.....	05
1.5 – QUESTIONÁRIO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS	07
2 – HIDROSTÁTICA E HIDRODINÂMICA	14
2.1 – CONCEITOS BÁSICOS.....	14
2.2 – DENSIDADE OU MASSA ESPECÍFICA	17
2.3 – TENSÃO DE COMPRESSÃO.....	20
2.4 – TENSÃO DE CISALHAMENTO	22
2.5 – TENSÃO SUPERFICIAL.....	23
2.6 – PRESSÃO HIDROSTÁTICA.....	25
2.7 – OBSERVAÇÕES SOBRE A LEI DE STEVEN.....	28
2.8 – PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES.....	30
2.9 –PRINCÍPIO DE PASCAL.....	33
2.10 – EMPUXO DE ARQUIMEDES.....	35
2.11 – HIDRODINÂMICA.....	38
2.12 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA A HIDRODINÂMICA.....	38
2.13 – ESCOAMENTO EM REGIME ESTACIONÁRIO E EM REGIME TURBULENTO	39
2.14 – FLUXO DE MASSA.....	41
2.15 – EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE	44
2.16 – EQUAÇÃO DE BERNOULLI.....	46
2.17 – FÓRMULA DE TORRICELLI	52
2.18 – TUBO DE PITOT	54
2.19 – FENÔMENO DE VENTURI.....	56
3 – APLICAÇÕES DA HIDROSTÁTICA E DA HIDRODINÂMICA	60
3.1 – INTRODUÇÃO	60

3.2 – AQUEDUTOS	61
3.3 – ENERGIA HIDRÁULICA	62
3.4 – PRIMEIRAS MÁQUINA HIDRÁULICAS	63
3.5 – MONJOLO	64
3.6 – CARNEIRO HIDRÁULICO	65
3.7 – RODA D'ÁGUA	67
3.8 – ELEVADOR HIDRÁULICO	68
3.9 – OUTRAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS	70
3.10 – FLUTUAÇÃO DOS CORPOS	73
3.11 – TUBO DE PITOT	78
3.12 – SUSTENTAÇÃO DE AVIÕES	80
4 – EXPERIMENTOS	81
4.1 – INTRODUÇÃO	81
4.2 – OBJETIVOS DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL	82
4.3 – A FORMA DOS LÍQUIDOS	83
4.4 – CAPILARIDADE	84
4.5 – TENSÕES DE CISALHAMENTO	84
4.6 – TENSÕES SUPERFICIAIS	86
4.7 – O BEBEDOURO E A PIPETA	87
4.8 – O OVO FLUTUA OU AFUNDA	88
4.9 – TAMPANDO A ÁGUA COM PAPEL	89
4.10 – A CHAMA QUE SUGA A ÁGUA	91
4.11 – O LUDIÃO E O FUNCIONAMENTO DO SUBMARINO	92
4.12 – O SIFÃO	94
4.13 – VELOCIDADE DO JATO D'ÁGUA COM A PROFUNDIDADE	95
4.14 – SUSTENTAÇÃO DADA PELO AR EM MOVIMENTO	96
4.15 – FENÔMENO DE VENTURI	98
5 – CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS	102
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	104

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Iniciais

Vivemos em um mundo onde podemos conversar sobre o assunto que vimos acontecer agora, porém ocorrido a milhares de quilômetros de onde estamos e com qualquer pessoa de qualquer parte do mundo. Se desejarmos nos comunicar com alguém, porém se ela não estiver, mandamos SMS, ou deixamos um recado na secretária eletrônica, mandamos um e-mail, ou deixamos uma mensagem no Orkut, Twitter, etc. Sabemos que a nossa comunicação de alguma forma irá chegar e tudo parece estar do outro lado do clique do mouse, ou seja, vivemos na era da instantaneidade.

Só para termos uma idéia da diferença entre nossas épocas e as atuais, em dezembro de 2008 o volume de vendas no varejo de equipamentos relacionados à informática e comunicação, foi de 635,46% tendo como base o ano de 2003, considerando que neste ano o aumento foi de 100% em relação aos anos anteriores para este tipo de comércio. [1]

Portanto o fato de ter que estudar uma disciplina que exige tempo para sua compreensão, seriedade para entender suas aplicações e paciência para boa interpretação dos inúmeros casos que podem surgir de longe se parece com uma rotina que os alunos se imaginam enquadrados. Toda esta velocidade que nos cerca traz a tona inevitavelmente em nós uma espécie de imediatismo. Passamos a perder a paciência com tudo o que nos parece demorar mais do que um segundo. É incrível presenciar a desolação e o desespero dos alunos ao terem que montar um experimento. Recolher dados então parece mais um martírio, muito embora eles adorem presenciar o fenômeno físico, porém a conversa destoa quando temos que extrair os dados dele. E nisto o processo de ensino aprendizagem pode perder terreno, por que, no caso da física, é necessário que haja prática com exercícios, análises das diferentes possibilidades para cada caso e todo este processo pode parecer ao aluno, um pouco enfadonho. E observando o cotidiano da sala de aula, as experiências diárias do processo ensino-aprendizagem e na tentativa de proporcionar uma forma alternativa de se apresentar à física é que nos inspirou a realizar este trabalho.

Sabe-se que a disciplina a qual lecionamos não é a das mais populares, mas é de nosso conhecimento também que ela foi crucial para o desenvolvimento das sociedades tal como conhecemos hoje: os meios de comunicação, a construção civil, as engenharias e seus progressos no desenvolvimento das tecnologias atualmente conhecidas, a medicina moderna com seus aparelhos sofisticados, são alguns exemplos de desenvolvimento social proporcionados pelo conhecimento e domínio da física. Tais exemplos nos servem, muitas das vezes, de estímulo na tentativa de despertar o interesse dos alunos a estudarem e a desejarem a se aprofundar no conhecimento da Física.

1.2 – Observações Necessárias na Aplicação do Modelo

É facilmente observável nos trabalhos atuais a subsistência de um ranço do modelo da escola tradicional de ensino. O conhecimento deste modelo, e a compreensão de que ele não satisfaz aquilo que hoje esperamos alcançar dos alunos, que é o interesse pelo que está sendo ensinado, parece se contradisser com a prática cotidiana, onde percebemos que boa parte do que é discutido na faculdade como teoria não é aplicada.

Sabemos que não existe uma proposta pedagógica totalmente fechada que possibilite a resolução de todos os problemas relacionados ao ensino da física. Nem é nosso intuito encontrá-la, se fosse nossa proposta nasceria ultrapassada. Mas este ensaio tem o intuito, em primeira mão, de discutir uma possibilidade para o ensino da Hidrostática e Hidrodinâmica para alunos do ensino fundamental e médio, através de uma perspectiva que supere o aprendizado do saber fazer. E simultaneamente produzir conhecimento significativo de física através de uma interação dinâmica entre o aluno, a teoria e a prática pedagógica.

Foi no período de estágio obrigatório que tive um primeiro contato com uma turma de ensino médio. Neste período tivemos a oportunidade de estagiar no Colégio Santo Inácio. Constatei que as disciplinas exatas lhes pareceriam um tanto quanto difíceis, diferentemente do que estava ocorrendo com as outras disciplinas, pois para estas o ensino ocorria de modo continuado. A matemática, que muitos não sabiam o motivo de sua existência, de repente era exigida, nos conteúdos de física, de uma forma que nunca antes estavam acostumados. Assim as equações e funções quando tratadas na física bem como suas resoluções pareciam ser diferentes de quando eles as viram na

matemática. Mesmo uma equação do primeiro grau quando resolvida num problema de física provocava dúvidas faraônicas. Então, percebi que era necessário dar sentido àquilo que se quer ensinar. E uma das possibilidades de se fazer isto seria ensinar o conteúdo de física à medida que os alunos crescessem. Em outras palavras, seria evoluir o conteúdo à medida que os alunos fossem evoluindo como é feito nas outras disciplinas.

Assim fazia-se necessário que os conteúdos fossem ministrados para alunos do ensino fundamental de acordo com o programa de matemática da escola. Os tópicos de física seriam programados para que não houvesse discrepância com o que era ensinado na matemática a fim de se harmonizar ambos os conteúdos. Por exemplo, quando no programa de matemática os alunos aprendessem a fazer razões seria conveniente que aprendessem em física a calcular a velocidade de um móvel ou a calcular a pressão que um livro exerce sobre a mesa, etc. Desta forma, não só se daria um sentido àquilo que era aprendido na matemática como possibilitaria a estes alunos, ao chegarem ao ensino médio já tivessem desenvolvido algumas habilidades que facilitariam o ensino de física, desfazendo-se o grande susto que normalmente sentem ao se depararem com a ela.

Também foi observado que quando o momento histórico do assunto era abordado, não só de quando foi que a humanidade começou a descobrir tal assunto, mas o porquê, ou seja, a razão pela qual os cientistas começaram a investigar tal assunto. Os alunos se mostraram mais receptivos para o aprendizado de determinada disciplina. Obviamente não toda a história, mas somente o necessário para que o aluno se localize no tempo, tal processo ajuda o diálogo entre aluno e a disciplina, pois o aluno passa a compreender a física não foi algo que surgiu do nada, muito menos que ela fora inventada, mas que ela foi construída e que ele é parte do processo de descobrimento e desenvolvimento da física como um todo.

1.3 – Objetivos e Conteúdo do Trabalho

Tendo por objetivo principal ensinar os assuntos: Hidrostática e Hidrodinâmica para alunos dos ensinos fundamental e médio, tendo como base as experiências vividas ao se lecionar estas disciplinas para alunos do ensino fundamental. Observando evidentes facilidades para sua exibição bem como dificuldades enfrentadas ao explaná-la. Tendo em vista as recomendações dadas pela LDB no que se refere ao pluralismo de

idéias e concepções pedagógicas [2]. Criticando o fato desta disciplina não ser ministrada nem para alunos do ensino médio, uma vez que ela é tão rica tanto do ponto de vista lúdico quanto do ponto de vista prático, tanto pela facilidade de se produzir material didático, como pelo fato de que todos os alunos podem manusear o objeto de estudo, no caso a água, sem perigo de se intoxicarem ou de se queimarem. E, além disso, por que não ensiná-la? Um dos motivos poderia ser a incrível complexidade com que os cálculos poderiam se tornar se a estudássemos mais profundamente. Também poderíamos imaginar que este assunto seria de difícil interpretação, pois dentro dele, teríamos que falar, ou seria pré-requisito que os alunos conhecessem assuntos como densidade, pressão, velocidade etc.

Em segundo plano este ensaio tem o objetivo de discutir e aplicar uma proposta pedagógica que visa algo além do saber fazer. E paralelamente observar sua aplicabilidade com satisfação ao não no que tange a produção de um conhecimento significativo da física através de um processo que busca ao máximo ser lúdico. De um modo que os alunos pudessem refletir com clareza sobre as questões que envolvem este assunto e assim, pudesse interpretá-lo segundo aquilo que se deseja alcançar.

Portanto é necessário salientarmos a importância de pontos que ancoram o aprendizado e que, ao mesmo tempo, são portos por onde tal aprendizado seguirá para outros níveis. Assim antes de se falar sobre Hidrodinâmica seria imprescindível ao aluno já conhecer a Hidrostática. A tal ponto dela ser pré-requisito obrigatório ao abordar este assunto. E, semelhantemente também, seria indispensável que o profissional da educação, ao falar sobre a Hidrostática, ensinasse previamente todos os tópicos necessários ao bom aprendizado desta matéria tais como a densidade, pressão, velocidade, tendo como alvo o ensino da Hidrodinâmica. Mesmo que não se aprofunde em função de sua complexidade, mas que o faça de um modo simples para que alguns dos fenômenos oriundos desta disciplina possam ser apresentados e sistematizados para os alunos de ensino médio. Deste modo não só se estaria fazendo o que reza a LDB: “A educação escolar deverá vincular-se ao mundo do trabalho e à prática social.” [2], como estaríamos possibilitando ao aluno participar ativamente do processo ensino-aprendizagem, o que tornaria a aula mais interessante.

Este trabalho será composto por uma série de conteúdos dispostos da seguinte forma: No presente capítulo discuto os aspectos didáticos do meu trabalho. No capítulo 2 apresento um estudo sobre os conceitos básicos da Hidrostática e da Hidrodinâmica. No capítulo 3, apresento diversas aplicações práticas da Hidrostática e da

Hidrodinâmica. No capítulo 4 descrevo diversos experimentos sobre Hidrostática e Hidrodinâmica. Finalmente no capítulo 5 apresento as principais conclusões do meu trabalho.

1.4 – Público Alvo

Tendo em vista a necessidade de estudar a aplicabilidade da metodologia foi que resolvi utilizar uma escola que trabalho em Nilópolis, para ser o laboratório dela. E passei a trabalhar com alunos do ensino fundamental como uma forma de testar sua viabilidade, e paralelamente, e que ela sirva como uma espécie paradigma a fim de se aplicá-la para alunos do ensino médio. Nesta escola trabalho como professor de um projeto que elaborei, chamado: Iniciação Científica. Este projeto é basicamente apresentar os conteúdos de física e química para alunos do ensino fundamental de uma forma que podemos chamar de “lúdica”, com diversos experimentos.

Nele tentamos ensinar conteúdos de física sempre no sentido de ir do concreto para o abstrato, principalmente porque o aluno nesta etapa do seu desenvolvimento necessita praticamente de “apalpar” o que se deseja ensinar. Julguei este ambiente propício para se ensinar tais disciplinas, ainda que superficialmente, porém com conteúdo suficiente para sistematizarmos matematicamente os fenômenos apresentados. O projeto visa preparar os alunos para que quando eles ingressarem no nono ano do ensino fundamental não estejam tão despreparados para compreenderem as matérias que geralmente são conhecidas como as mais difíceis.

Assim passei a trabalhar em primeiro lugar o conteúdo com os alunos do Colégio Curso Equipe Grau de Nilópolis, no projeto supracitado, com alunos do *Ensino Fundamental*. Mais precisamente com alunos do oitavo ano, pois, ao pesquisar os conhecimentos prévios destes alunos descobri que a eles já havia sido ministrado o conteúdos de radiciação, expressões algébricas, monômios, binômios, valor de um monômio o que facilitaria a compreensão da sistematização matemática que tanto queria, bem como facilitaria o uso de fórmulas.

Também nesta escola os alunos aprendem informática e justamente no oitavo ano que eles aprendem a utilizar programa Excel. Sabemos que este programa não é a melhor ferramenta que poderíamos utilizar, porém, é uma ferramenta que julguei eficaz, pois, faz parte do cotidiano deles o que facilitaria ainda mais a compreensão do que lhes queria apresentar. Assim pretendo demonstrar que se caso fosse possível trabalhar, de

maneira geral conceitos básicos de Hidrostática e Hidrodinâmica com alunos do ensino fundamental, obviamente, seria possível trabalhar estes assuntos com alunos do ensino médio. E, posteriormente, num segundo momento, utilizar as experiências vivenciadas com o primeiro grupo de alunos como um paradigma a ser aplicado aos alunos do ensino médio.

E é assim que este trabalho apresenta como uma proposta alternativa de se ensinar conceitos sobre os temas supracitados para alunos tanto do ensino fundamental como para alunos do ensino médio. Certamente este estudo destina-se também aos alunos do curso de Licenciatura em Física, bem como aos professores de Ensino Médio, tendo como base observância da LDB/96 [2] como também as recomendações dos PCN's [3] e principalmente as experiências sofridas em sala de aula, local que usamos como laboratório para a realização deste trabalho.

E tão importante quanto ~~de~~ saber o que foi ensinado ~~é~~ conhecer, para ao que lêem este trabalho, o perfil dos alunos que participaram da realização deste trabalho. Sabemos que estamos trabalhando com alunos do oitavo ano do ensino fundamental, são alunos cuja faixa etária está entre 12 e 14 anos de idade, portanto estão iniciando processos psicológicos e fisiológicos que certamente prejudicam o processo de ensino aprendizagem. Também são alunos de uma escola de classe média a alta, pois, a escola onde estudam é uma das mais caras da região onde moram. Em geral são filhos de funcionários públicos ou pequenos empresários da região, uma grande parte filhos de pais separados ou são filhos de pais que trabalham fora o dia todo, portanto são pessoas muito independentes, são pouco cobrados em casa e possuem o dia livre para fazerem coisas como ficar na internet, dormir à tarde, jogar videogame sair para brincar na casa de colegas, etc. Ou seja, possuem todas as condições para não se dedicarem, ainda mais para uma matéria que não valerá nota.

Por outro lado são muitas crianças e são de certa forma “encantáveis”, ou seja, são muito atraídas pelos experimentos e como característica da idade desejam saber quase que desesperadamente porque o fenômeno ocorreu da forma que ocorreu. É bem verdade que primeiramente elas tratam o experimento como algo “mágico” e, certamente, não temos o objetivo de que elas permaneçam assim, porém, usaremos este artifício como uma espécie de ferramenta para que tal curiosidade os motive a suportar todo o período, pós-experimental, onde sistematizamos matematicamente o fenômeno através das fórmulas. E assim, o aluno possa compreender este fenômeno como algo natural, desmistificado.

Assim, o nosso trabalho será composto de vários capítulos, o capítulo I é a introdução, o capítulo II será composto inicialmente dos conhecimentos das matérias pré-requisitadas para a melhor compreensão do todo, tais como: densidade, pressão hidrostática, pressão atmosférica, massa específica, ou seja, conhecimentos necessários, porém, que alunos neste período ainda não tiveram. Também nesta parte, faremos uma apresentação da Hidrostática e da Hidrodinâmica mostrando alguns de seus conceitos básicos, utilizando-se para isto uma abordagem baseada no que alunos do oitavo ano do ensino médio do Colégio Equipe Grau de Nilópolis, já mostram saber. O capítulo III mostrará algumas aplicações que o domínio deste saber possibilitou, no capítulo IV exibiremos alguns experimentos que servem de objetos ferramentas facilitadoras do ensino dos tópicos apresentados e, no capítulo V concluiremos fazendo uma análise qualitativa do nosso trabalho.

1.5 – Questionário Dos Conhecimentos Prévios

Esta parte do trabalho foi dividida em duas partes: a primeira é o questionário sobre os conhecimentos prévios, relativo aos alunos do oitavo ano do ensino fundamental do Colégio Equipe Grau de Nilópolis. A segunda parte está relacionada à aplicação do método, onde abordaremos para estes alunos o conceito de Pressão.

Os gráficos apresentados abaixo pretendem apresentar, de uma forma resumida, os resultados da análise da resposta dos alunos do ensino fundamental antes e depois da apresentação da aula sobre pressão, antes de ser dada qualquer explicação relativa ao tema. Enfim, os alunos jamais tiveram contato com os temas: Hidrostática e Hidrodinâmica.

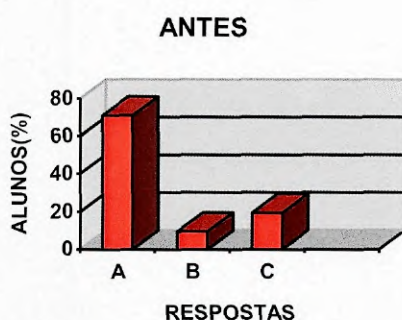
Lembramos que as respostas apresentadas nas próximas páginas são um resumo aproximado de todas as respostas dos alunos. Alguns responderam mais elaboradamente outros menos, porém, reunimos os grupos de respostas que mais se aproximavam umas das outras ou aquela que acreditamos ter o significado em comum.

1- Você saberia dizer o que é matéria? Faça um desenho de algo que você considere ser material.

Resposta do professor.

Podemos chamar de matéria todo objeto que é formado por átomos, podendo ser encontrada nos estados: sólido, líquido ou gasoso. A rigor, dizemos que matéria é todo objeto que satisfaz algumas propriedades daquilo que conhecemos por propriedades da matéria, tais como: Extensão, Impenetrabilidade, Mobilidade, Compressibilidade, Elasticidade, Ponderabilidade, Divisibilidade, Indestrutibilidade, Maleabilidade, Ductibilidade.

Padrão de respostas dos alunos antes da apresentação da aula.

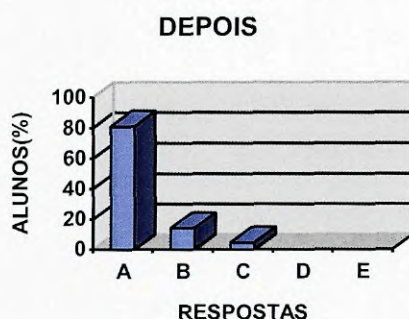


A – 71% Atribuem à matéria um conjunto de elementos necessariamente sólido.

B – 9,5% Disseram que matéria era a água, pois poderíamos bebê-la.

C – 19,5% Não souberam responder.

Padrão de respostas dos alunos depois da apresentação da aula.



A – 81% Afirmaram que matéria era alguma coisa necessariamente formada por átomos, dando exemplo de elementos sólidos, líquidos ou gasosos.

B – 14,3% Deram exemplo de objetos diversificados, mas não explicaram o que era matéria.

C – 4,7% Não souberam responder.

2- Na experiência da lata (vide experiência 4.10), vimos que ao depois de esquentá-la a colocamos emborcada na tigela de água e ela se amassou espontaneamente. Quem ou o que amassou a lata?

Resposta do professor:

Ao aquecer a lata produziu-se um aumento em sua pressão interna, fazendo o ar expandir a fim de igualar a pressão interna com a pressão externa rarefazendo o ar internamente. Quando colocamos o sistema no pote com água esta, resfria o ar rapidamente se contraindo. Ao ocorrer isto, a pressão interna fica menor do que a pressão externa à lata, então a pressão atmosférica esmaga a lata.



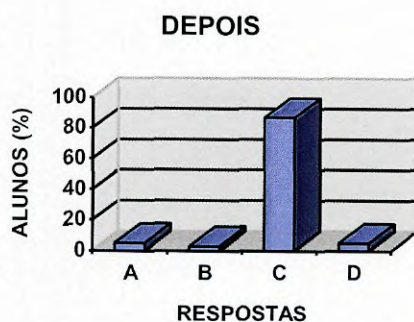
está relacionado

A – 35%Disseram que ~~tinha~~ *há* ~~ver~~ com a mudança da temperatura.

B – 31%Disseram que o fogo amoleceu a lata.

C – 6%Falaram algo relacionado à Pressão.

D – 28%Não souberam responder.



A – 5% Disseram que estava relacionado com a mudança de temperatura.

B – 3% Disseram que o fogo amoleceu a lata.

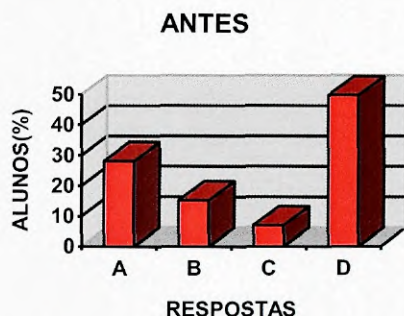
C – 87% Disseram que o fenômeno estava relacionado com a pressão atmosférica.

D – 5% Não souberam responder ou não responderam corretamente.

3- Na experiência do copo (vide experiência 4.9), vimos que a água não caiu quando o copo foi virado, você saberia explicar por quê?

Resposta do professor:

Isto ocorre porque a pressão do ar aprisionado no copo mais a pressão da coluna líquida se igualam com a pressão do ar atmosférico. Com o equilíbrio estabelecido a água não tem porque cair. É importante observar que há também um fator fundamental para a realização do experimento: a dimensão do copo, pois, há tensão superficial de uma pequena quantidade de água que impede a invasão do ar paralelamente ao plano do papel. Se fizéssemos o experimento com um balde esta tensão não seria suficientemente grande para impedir a entrada de ar, inviabilizando o experimento.

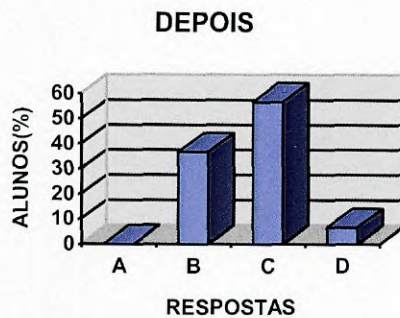


A – 28,1% Responderam que a causa se deve por algum truque.

B – 15,2% Responderam que deveria haver uma cola especial no papel.

C – 7% Responderam alguma coisa relacionada à pressão.

D – 49,7% Não souberam responder.



A – 0% Respondeu que se tratava de algum truque.

B – 36,7% Outras resposta relacionadas à pressão do sistema.

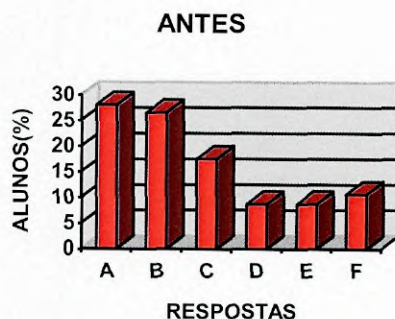
C – 56,7% Responderam que a causa do fenômeno estava relacionado com a pressão atmosférica.

D – 6,6% Não souberam responder.

4- Se pusermos uma moeda sobre a água no oceano atlântico, sabemos que ela afundará. Porém, um transatlântico possui milhares de toneladas e flutua no mesmo oceano, por que isto ocorre?

Resposta do professor:

Apesar de o transatlântico possuir uma massa muito maior do que a massa da moeda, o formato do seu casco propicia o deslocamento de um grande volume de água. Este grande volume deslocado produz sobre ele um empuxo que equilibra seu peso, fazendo-o flutuar.



A – 28% Atribuem a flutuação ao fato de o navio possuir motor e a moeda não.

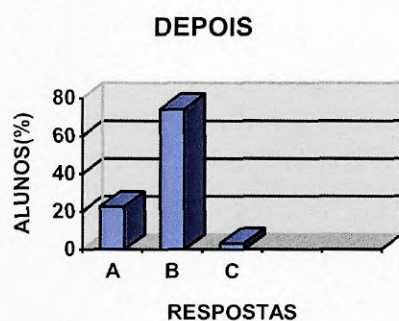
B – 26,5% Acreditam que o fato de o navio ser pesado, impede a água de puxá-lo para o fundo.

C – 17,5% Atribuem a flutuação do navio ao fato dele possuir ar em seu interior.

D – 8,7% Mencionaram alguma coisa relacionada com a gravidade.

E – 8,7 Acreditam que o navio flutua por causa do seu material ou pelo seu formato.

F – 10,6% Não souberam responder.



A – 22,6% Disseram que o navio flutua por causa do seu formato.

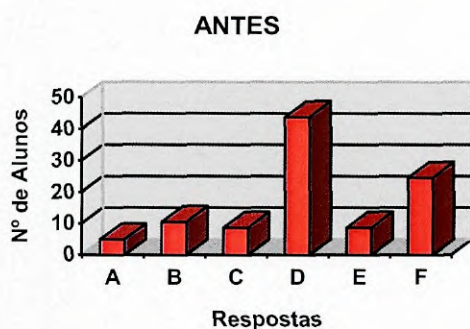
B – 74,2% Atribuem a flutuação do navio ao fato dele possuir ar em seu interior.

C – 3,2% Não souberam responder.

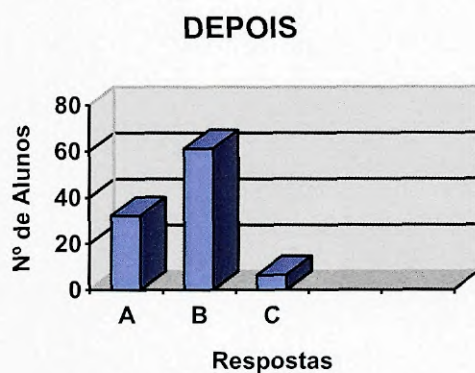
5 - Todos já viram uma cena onde um helicóptero levantou vôo. Que força é esta que levanta o helicóptero?

Resposta do professor.

Quando o helicóptero é ligado, sua hélice puxa o ar que está sobre ele, jogando para baixo, este movimento do ar produz uma diferença de pressão entre a parte superior e a parte inferior da hélice. Esta diferença de pressão gera, sobre o helicóptero, uma força ascendente. No caso desta força ser maior do que o seu peso o helicóptero subirá, no caso desta força ser igual ao seu peso, ele ficará estabilizado no ar.



- A – 5% Atribuíram ao combustível.
 B – 10,2% Falaram alguma coisa relacionada à pressão.
 C – 8,4% Disseram que a força vem do motor.
 D – 43,5% Atribuíram à força do ar ou a hélice.
 E – 8,4% Atribuíram à força G.
 F – 24,5% Não souberam responder.



- A – 32,2% Atribuíram o fato a força das hélices.
 B – 61,3% Mencionaram alguma coisa relacionada à pressão.
 C – 6,5% Não responderam.

2 – HIDROSTÁTICA E HIDRODINÂMICA

2.1 – Conceitos Básicos

Quando falamos em matéria não possuímos uma definição suficientemente boa a ponto de se definir tudo o que é matéria a partir dela. Julgamos algo como material tudo aquilo que possui determinadas propriedades que satisfazem o que chamamos de propriedades da matéria, tais como: Extensão, Impenetrabilidade, Mobilidade, Compressibilidade, Elasticidade, Divisibilidade, Indestrutibilidade, Maleabilidade, etc. A matéria pode assumir diferentes estados de agregação podendo ser encontrada no estado sólido, líquido ou gasoso.

É interessante observar que faz parte do senso comum, conceber a idéia de matéria inicialmente dissociada dos estados, líquido e gasoso. No decorrer deste trabalho tivemos a oportunidade, por diversas vezes, de pedir aos alunos que descrevessem qual imagem lhes surgia quando os perguntava: o que era matéria? Tanto para os alunos do sexto ao quanto os alunos do oitavo ano, na grande maioria das vezes, a resposta sempre transitava algo entre a imagem de um objeto necessariamente sólido, duro, como uma pedra ou uma madeira, etc. Obviamente, observei por muitas vezes o espanto ao descobrirem por meio da minha informação que o ar era matéria. É um esquecimento muito comum, ocorrer aos professores de ciências não enfatizar que matéria: "... no seu estado agregado, pode se apresentar sob forma sólida ou fluida. O termo fluido abrange tanto os líquidos quanto os gases "[4].

Um objeto é chamado de sólido, quando suas moléculas estão fortemente ligadas entre si de tal modo que o objeto possui uma forma própria e volume bem definido. Pode-se até mudar o formato deste tipo objeto dependendo, para isso, da ação de uma força externa relativamente grande quando comparado à força necessária para alterarmos a forma de um objeto no estado fluido.

A palavra, fluido é designada para qualquer substância que possa escoar facilmente, que não tenha forma própria (fluido ideal) ou que tenha a capacidade de mudar seu formato ao ser submetido à ação de pequenas forças. Um **fluido ideal** no estado líquido possui um volume bem definido, porém não possui a forma própria, ou seja, ele se amolda à forma do recipiente que o contém, pois, basta uma força muito pequena para poder alterar consideravelmente seu formato. Deste modo, ele consegue

assumir a forma das mais diversas estruturas. Mas quando falamos de um fluido real, ao contrário do que observamos no dia a dia, ele possui um formato próprio que é o formato esférico [5], o problema é que tal propriedade só pode ser observada caso ele esteja fora do campo gravitacional terrestre. Pois é o campo gravitacional que faz o líquido moldar-se ao recipiente que o contém não sendo propriedade específica dos fluidos.

Em um fluido como a água, apesar de suas moléculas possuírem o mesmo número de carga elétrica positiva e negativa, elas não são completamente neutras devido à distribuição assimétrica de suas cargas. Assim uma molécula exerce força sobre a outra, estas forças são conhecidas como forças de coesão, elas são responsáveis pelo fato de o fluido possuir um volume constante, como estas forças possuem a mesma intensidade, e são exercidas em todas as direções o fluido assumiria um formato esférico quando posto fora do um campo gravitacional terrestre. Porque quando o fluido está no interior do campo gravitacional terrestre, esta força sobre a massa fluida é muito maior do que as forças de coesão de suas moléculas, fazendo com que ele se amolde praticamente a todos os tipos de formato. Este fenômeno também pode ser observado quando analisamos pequenas gotas de água (gotículas), neste caso, as forças de coesão são maiores do que a força gravitacional sobre a massa fluida, então esta propriedade pode ser percebida. Também podemos notá-la quando pegamos um tipo de fluido, onde essas forças são muito intensas como é o caso do mercúrio que é um metal no estado líquido [5].

Já um fluido gasoso não possui forma nem volume definidos ele tende a ocupar todo volume do recipiente que o contém, exercendo uma pressão sobre as paredes deste recipiente. Tal pressão depende de vários fatores tais como temperatura, volume e quantidade de gás inserido neste recipiente. As forças que atuam perpendicularmente à superfície são chamadas de forças de compressão; as forças tangenciais à superfície são chamadas de cisalhamento. Num fluido chamado ideal não podem existir forças de cisalhamento, caso sua velocidade seja nula [6].

Para um líquido a resistência é proporcional a velocidade da sua deformação [6]. Pois estando amoldado em um recipiente sem tampa, ao receber uma força perpendicularmente sobre sua superfície ele sofre uma alteração em seu formato escoando até atingir um ponto, onde a força resultante seja nula. Assim compreendemos que um fluido pode se movimentar enquanto uma força estiver sendo aplicada sobre ele, e que o movimento de um fluido pressupõem que sobre ele está sendo aplicada uma

força. Este movimento é executado pelo fluido no sentido de tentar equilibrar-se com a força atuante. Logo, entendemos que um fluido só está em repouso caso o somatório de todas as forças sobre ele for nula.

Por exemplo, imaginemos um recipiente cilíndrico no qual colocamos um líquido incompressível. Este recipiente pode ser um copo ou uma seringa. Imagine também que o fluido preenche a metade do volume do recipiente. Num primeiro momento observamos o fluido em repouso, pois o somatório das forças atuantes sobre ele é nula. Se em determinado momento pusermos um pequeno objeto sólido no interior dele, observaremos que o fluido sobe pelas paredes do recipiente que o contém até atingir novamente um nível onde as forças internas sejam nulas. Em outras palavras, enquanto tal objeto é introduzido há movimento, ou seja, enquanto há um desequilíbrio das forças atuantes neste sistema há movimento no fluido e uma vez restaurado o equilíbrio este movimento cessa.

Faz-se necessário explicar que ao falamos em fluido, estaremos fazendo menção ao primeiro fluido estudado: a água. Basicamente por razões históricas, uma vez que este foi o primeiro fluido a ser estudado, como por algumas particularidades que o distinguem dos gases tais como o fato de um líquido possui uma densidade em média 1000 vezes maior do que a de um gás [4] além de para inúmeras aplicações podemos considerá-lo incompressível com boa aproximação [6].

Outra consideração a fazer se deve ao fato de que todo fluido ideal pode escoar sem atrito, ou seja, as diversas camadas que o constituem podem variar de posição livremente no decurso do tempo. Ao analisarmos as alterações exercidas ou sofridas por um fluido em repouso, estaremos nos referindo à Hidrostática, caso analisarmos o fluido em movimento contínuo estaremos nos referindo à Hidrodinâmica. Ou seja, podemos definir a Hidrostática como a parte da Hidrodinâmica para a qual sua velocidade de escoamento é nula.

Contudo, antes de iniciarmos o estudo da Hidrostática, é necessário conhecermos alguns conceitos que serão de extrema importância para a elucidação e o aprofundamento dos assuntos supracitados, tais como: densidade ou massa específica e pressão. Uma vez que ao trabalharmos com um fluido fica mais viável estudá-lo por meio da sua densidade do que por meio da sua massa e é mais compreensível entender o que ocorre com as forças que nele atuam através do valor da pressão seja ela exercida ou sofrida por ele. E também não podemos esquecer que é a primeira vez que

caracterizaremos uma substância por um valor e que tal valor foi obtido por um método que o próprio aluno poderá dominar e reproduzir com outras substâncias.

2.2 – Densidade ou Massa Específica

Sabemos que existem várias formas de se identificar um material, seja pelo cheiro, seja pela textura, ou cor, etc. Porém, este é um método pelo qual podemos fazer o aluno entender o método científico de uma forma bastante precária. Precisamos descobrir alguma propriedade que caracterize o material que estamos utilizando. Esta propriedade denomina-se *densidade* ou *massa específica*. Alguns autores utilizam o termo *densidade* e outros usam o termo *massa específica*. Contudo, é necessário esclarecer que esses dois termos são sinônimos. Nesta monografia preferimos utilizar o termo *densidade*. Para designar a densidade (ou massa específica) utilizaremos geralmente a letra grega “ ρ ”.

Como observado por BONADIMAN:

“Algumas vezes procuramos identificar determinados materiais através da grandeza peso e, em relação a isso, é muito comum ouvirmos afirmações como estas “o chumbo pesa mais que o alumínio”, ou esta outra, “a madeira flutua porque pesa menos que a água”. Com isso, queremos dizer que o peso é uma característica dos materiais, capaz de identificá-lo e diferenciá-lo. No entanto, estas afirmações podem ser consideradas fisicamente corretas? E a massa específica absoluta (ou densidade absoluta), pode ser considerada uma propriedade de cada material?” [7]

Todas estas questões são levantadas e analisadas naturalmente pelos alunos quando fazemos uso do método para identificar as mais diversas substâncias. Inicialmente definimos um corpo homogêneo como sendo um material uniforme constituído apenas por uma substância, isto é, não consideramos misturas de substâncias. Considere uma substância pura homogênea que esteja no estado sólido e que seja um corpo maciço, ou seja, vamos supor que este corpo não possui nenhuma cavidade. Suponha que este corpo possua uma massa “ M ” e que seu volume seja “ V ”. Definimos a densidade da referida substância, através da divisão do valor de sua massa pelo valor de seu volume total. Ou seja, a densidade de um corpo maciço homogêneo é definida através da equação:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Na figura 2.1 mostramos uma esfera de vidro (bola de gude). Observamos que é uma característica deste material afundar quando a colocamos em um recipiente cheio de água porque sua densidade é maior do que a densidade da água.

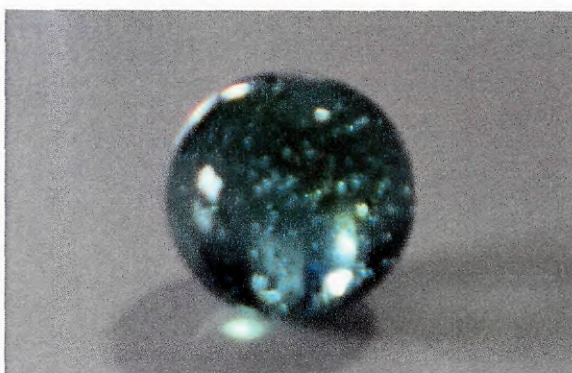


Fig. 2.1. Ilustração de uma bola de gude de massa M e volume V .

A densidade determina a quantidade de matéria por unidade de volume de uma determinada substância. Para cada elemento de volume desta substância podemos obter o valor de sua densidade através da definição (1). Para calcular a massa de um corpo homogêneo maciço, de acordo com a relação (1), devemos usar a equação:

$$M = \rho V \quad (2)$$

Na relação (1) consideramos um corpo maciço, isto é, um corpo sem buracos. Considere, por exemplo, um corpo homogêneo com volume total V . Suponha que no interior deste corpo exista uma parte oca com volume V' , ou seja, V' é o volume da parte onde não existe nenhuma porção da substância. Então, neste caso, em vez da relação (1), devemos calcular a densidade da substância através da relação:

$$\rho = \frac{M}{V - V'} \quad (3)$$

Note que, neste caso, a relação (1) não fornece a densidade corretamente, visto que a definição (1) só se aplica para corpos homogêneos maciços. Quando o corpo for

constituído por uma mistura de diversas substâncias, nem a relação (1) nem a relação (3) seriam corretas.

Para entender a figura 2.2 precisamos estudar o conceito de empuxo que será definido na Seção 2.10 (Empuxo de Arquimedes). Mostraremos que o empuxo é igual ao peso do volume do líquido deslocado, ou seja, o empuxo será definido pela seguinte equação

$$Empuxo = \rho g V \quad (4)$$

Na equação (4) m é a massa do líquido deslocado pelo corpo. Na Seção 2.10 (Empuxo de Arquimedes) mostraremos detalhes sobre o conceito de empuxo.

Na figura 2.2 temos um copo de vidro cuja massa, e o volume diferem dos da bolinha de gude citada anteriormente. Embora ambas sejam feitas de vidro, e a massa do copo seja muito maior do que a massa da bolinha de gude observamos que, quando ambos são colocados sobre a superfície da água, a bolinha afunda e o copo não.



Fig. 2.2. O copo da figura serve para ilustrar uma comparação entre dois objetos constituídos pelo mesmo material (vidro), porém que possuem massas diferentes e volumes diferentes. Observe que o objeto de massa maior (o copo) pode flutuar enquanto o objeto de massa menor (a bola de gude) afunda quando colocado na presença de um mesmo fluido (no caso a água). A explicação é que, de acordo com a relação (3), como o volume do líquido deslocado pelo copo é muito grande, o empuxo sobre o copo é maior do que o peso do copo, e ele flutua, ao passo que o volume do líquido deslocado pela bola de gude é pequeno e a bola de gude afunda. Esta explicação é análoga à explicação dada na questão 4 do questionário dos conhecimentos prévios (ver a Seção 1.5).

2.3 – Tensão de Compressão

Chama-se tensão toda unidade de força aplicada sobre uma unidade de área, existem tensões de compressão ou simplesmente pressão, esta ocorre quando a força é aplicada perpendicularmente à superfície, existem também tensões paralelas a ela tais tensões são chamadas de Cisalhamento. Num fluido dito ideal não existem tais tensões de cisalhamento. [6]

O conceito físico de pressão é concebido intuitivamente como um objeto A, produzindo força sobre a superfície de um objeto B. Mais especificamente, a tensão de compressão seria a força perpendicular que um objeto A exerce sobre a superfície de um objeto B. Ou seja, há certa quantidade de força aplicada sobre certa região do espaço, ou numa certa quantidade de superfície do objeto B.

Se diminuirmos o valor desta superfície de contato mantendo-se o valor constante da força, sentiremos a pressão aumentar, por outro lado, se aumentarmos o valor desta superfície mantendo-se a força constante sentiremos o valor desta pressão diminuir. O mesmo efeito na pressão seria observado se alterássemos o valor da força aplicada.

Se aumentarmos o valor da força mantendo-se o valor da superfície constante, observamos a pressão aumentar, por outro lado quando diminuimos o valor da força sem diminuirmos o valor da superfície de contato percebe-se também uma diminuição no valor da pressão. Portanto entendemos que a pressão é diretamente proporcional ao valor da força aplicada e inversamente proporcional ao valor da superfície onde se aplica esta força. Portanto, diremos que pressão é a divisão da força por unidade de área que um corpo exerce sobre uma superfície na qual está apoiado, portanto:

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Conseqüentemente:

$$F = PA \quad (6)$$

A equação (5) é a primeira dedução matemática do conceito de pressão e a equação (6) mostra a força sobre um elemento de área. A figura 2.3 ilustra a situação descrita acima. A força que os dedos aplicam no lápis é constante, porém a pressão sentida no dedo indicador é maior do que a pressão sentida no dedo polegar, pois no primeiro a superfície de contato é bem menor do que no segundo.



Fig. 2.3. Mostra a imagem de uma mão segurando um lápis. O dedo indicador sente maior pressão do que no dedo polegar, pois a área de contato nele é muito menor.

Considerando que um corpo pode possuir várias faces, se estas forem distintas umas das outras o mesmo objeto, neste caso, terá para cada uma de suas faces uma área distinta, portanto, exercerá valores distintos de pressão para cada face apoiada numa superfície. A figura 2.4 é um exemplo perfeito do que ocorre.

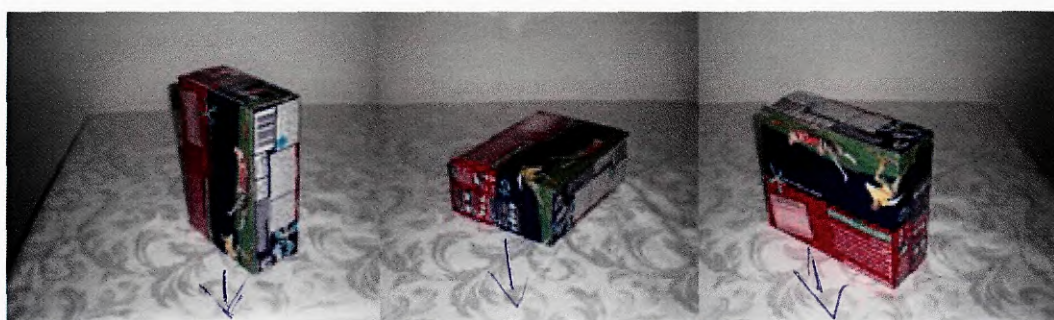


Fig. 2.4. Exibe um único sólido sob três perspectivas diferentes. Para cada valor de área diferente, como o sólido possui o mesmo peso, em cada situação tem-se para cada uma delas um valor distinto para a pressão.

2.4 – Tensões de Cisalhamento

Tensão de cisalhamento ou tensão de corte como geralmente é conhecida. É a tensão surgida por duas superfícies sobrepostas onde cada uma está sujeita a uma força que a puxa num sentido oposto à força da outra superfície. Toda vez que cortamos um pedaço de pano com uma tesoura, ou quando cortamos um pedaço de queijo estamos praticando o cisalhamento. Geralmente a aplicação deste conceito é tão comum em nosso cotidiano que quase não prestamos atenção nele, mas tudo aquilo que possibilita ou não o corte de um material é uma tensão cisalhante.

Observamos a aplicação deste conceito na Geologia, pois o solo e as rochas estão constantemente sujeitos a este tipo de tensão gerando deformações tais como falhas e dobras além de outros fenômenos como, por exemplo, o terremoto que basicamente é o resultado do escorregamento de uma placa sobre a outra, pois estavam sujeitas a este tipo de tensão. A figura 2.5 ilustra uma situação onde duas placas de terra estão sofrendo este tipo de tensão, o movimento delas é o que conhecemos por terremoto.

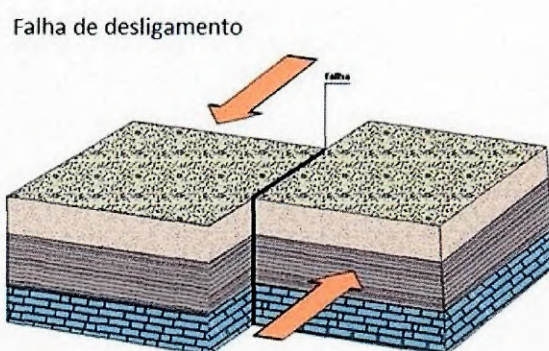


Fig. 2.5. A figura ilustra uma situação de terremoto que ocorre porque havia uma tensão cisalhante entre elas. É o exemplo geológico de uma tensão cisalhante. [8]

Também é possível observar a aplicação deste estudo nas Indústrias principalmente no setor de criação de máquinas de corte ou pinos de sustentação, pois estes objetos estão constantemente sujeitos a tal tipo de tensão sendo, portanto, extremamente necessária a compreensão de tal fenômeno tanto para a produção do

maquinário, como para a previsão do quanto de carga determinado sistema poderá suportar quando sujeito a uma tensão cisalhante.

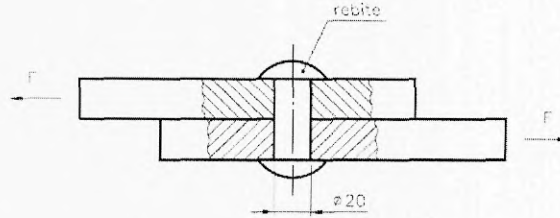


Fig. 2.6. A figura mostra um exemplo de aplicação do cisalhamento na indústria para a fabricação de pinos de sustentação. [9]

Num fluido ideal a tensão de cisalhamento é nula, pois, suas camadas estão sobrepostas umas sobre as outras de modo que não há atrito entre suas superfícies, ou seja, não há nenhuma viscosidade neste tipo de fluido.

2.5 – Tensões Superficiais

Nos tópicos acima falamos que o fluido é um tipo de estado onde a matéria pode ser encontrada, e como sabemos toda porção de matéria tal como conhecemos deve ser formada por átomos. Ao observá-la do ponto de vista macroscópico vemos o fluido como um todo, deste ponto de vista outros tipos de efeito tal como a atração elétrica não são observado. Porém se a analisarmos microscopicamente compreendemos que estes efeitos não podem ser desprezados. Até por que o conhecimento de como o líquido se encontra estruturado explica um efeito bastante curioso que conhecemos por **tensão superficial**.

Sabemos que ao colocarmos uma moeda ou, um clipe de papel, ou qualquer pedaço de metal sobre a superfície de um fluido, esperamos que ele afundasse devido ao fato de sua densidade ser maior do que a densidade da água. Mas o que observamos na prática é que tal objeto pode flutuar. A primeira vista isto pode parecer um pouco paradoxal porque já vimos nas secções anteriores que um objeto mais denso do que um fluido não poderia flutuar por sua superfície assim como um objeto menos denso do que um fluido não deve afundar nele.

Então por que isto acontece? Ou qual seria o motivo que levaria um objeto mais denso do que a água a flutuar? Será que a física está errada e toda a teoria que estudamos até então é falsa? São perguntas comumente ouvidas por um professor ao ministrar este tipo de estudo depois de se falar tão bem sobre densidade pressão de um fluido, etc. Agora que conseguimos desenvolver um pouco o senso crítico nos alunos sofremos as conseqüências dele com uma avalanche de perguntas deste tipo.

Uma das hipóteses sobre o que ocorre é que ao observarmos um fluido, o fazemos de um ponto de vista macroscópico, ou seja, vemos o fluido como um todo esquecemos que ele, na verdade, é composto por diminutas partículas chamadas átomos. Portanto ao tentarmos observá-las deste ponto de vista, ou seja, do ponto de vista microscópico, devemos levar em consideração alguns efeitos não observados naturalmente, tal como a atração elétrica das partículas.

No interior do fluido uma molécula é cercada por todos os lados por outras semelhantes moléculas, devido a esta simetria a força de atração sobre cada partícula no interior do fluido é nula. Pois as forças que atuam sobre um hemisfério atuam de maneira igual sobre o outro hemisfério de cada molécula, porém, isso não ocorre com o grupo de partículas que estão sobre a superfície do fluido. Na região da superfície há um desequilíbrio no somatório de forças, pois, uma região está mais sujeita a força de atração molecular do que a outra. Assim os grupos de moléculas que estão nesta região são sujeitas a forças que as “puxam” para o interior do fluido, porém, logo este movimento é impedido por que uma partícula não pode passar por entre as demais que constituem o fluido em questão. Então sobre a superfície do líquido forma-se uma espécie de película que pode suportar o peso de alguns pequenos objetos. A figura 2.7 [10] ilustra as forças exercidas sobre moléculas que estão no interior e na superfície de um fluido. Observe que a partícula do interior é puxada para todos os lados.

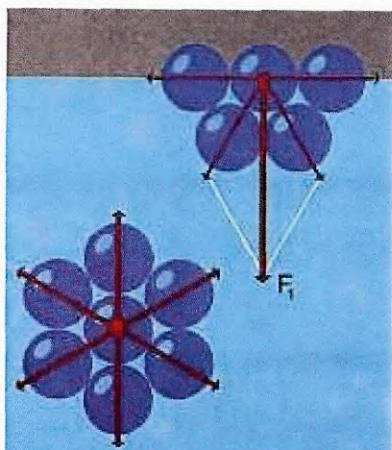


Fig.2.7. Mostra as forças moleculares atuantes em duas moléculas [10].



Fig. 2.8. Imagem de uma experiência onde se coloca uma moeda sobre a superfície da água sem que ela afunde [11].

Por causa deste efeito é que podemos colocar pequenos objetos sobre a superfície da água sem que eles afundem ainda que seja mais denso do que ela. A figura 2.8, [11] ilustra uma situação assim, a moeda de um peso p não afunda em virtude da força que a superfície exerce sobre a moeda que, neste caso, é igual ao seu peso.

2.6 – Pressão Hidrostática

Como já vimos um fluido possui um volume bem definido e podemos obter seu valor, pois ele se altera a fim de se moldar ao recipiente que o contém. Caso o volume do fluido seja maior do que o volume do recipiente ocorrerá um transbordamento, caso o volume do fluido seja menor do que o volume do recipiente ele irá se nivelar numa altura h menor do que a altura do recipiente que o contém.

Por possuir tal propriedade é que podemos calcular o volume de certa massa de fluido contido em um recipiente, pois, ao amoldar-se o líquido assume o formato interno do recipiente que o contém, portanto se dispusermos de um recipiente cujo formato facilite o cálculo a ser efetuado tal como um paralelepípedo, ou como uma pirâmide de base quadrada ou um cone, etc. E preferível que o recipiente possua o formato de um prisma é interessante que sua base se aproxime de uma figura geométrica conhecida e regular tal como um quadrado ou retângulo, e então podemos obter teoricamente o volume do recipiente e conseqüentemente o do líquido. Fazendo segundo a equação:

$$V = A H \quad (7)$$

O formato da área da base não influencia no cálculo do volume, por que para cada tipo de figura possuiremos um valor (**A**) de área diferente. Lembrando que ao fazermos a escolha do recipiente, optamos por fazê-lo em um recipiente cuja areada base pudesse ser facilmente calculada. Sabemos que a área interna do recipiente será igual à área da base do fluido contido nele, portanto o volume do líquido pode ser calculado através do produto da base do recipiente pela altura da coluna **líquida**.

Portanto, fazendo uma analogia com a equação (7) o volume da coluna líquida é dado por:

$$V = Ah \quad (8)$$

Através do volume de um líquido podemos conhecer que pressão este fluido exerce sobre o fundo do recipiente, usando em princípio a equação (5). Sendo “F” a força peso que a coluna líquida exerça, sobre o fundo do recipiente, como o fluido está em repouso ele está sujeito somente à ação da força peso. A figura 2.9 é uma foto que mostra um recipiente onde se depositou água, observe que podemos conhecer o volume de água depositado, pois ela se amolda ao recipiente até a altura *h*. A pressão no fundo do copo é diretamente proporcional ao volume de fluido depositado.

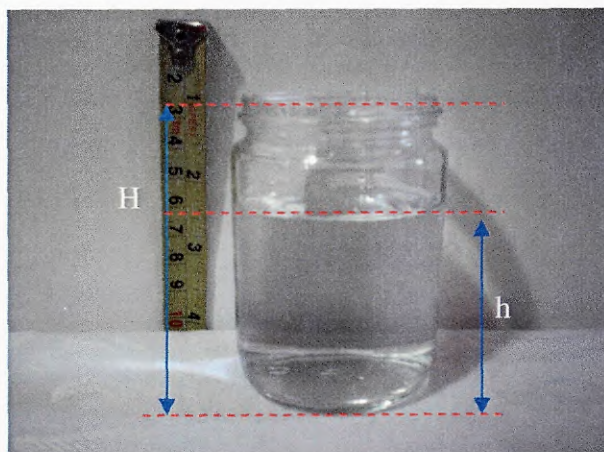


Fig. 2.9. Representa uma coluna líquida de um fluido, observe que o ar exerce pressão na parte superior do fluido.

$$F = \text{Peso} = Mg \quad (9)$$

Como $M = \rho V$, equação (4) e $V = Ah$ equação (8), aplicando-se uma equação à outra temos:

$$M = \rho Ah \quad (10)$$

Substituindo a equação (10) na (9), temos que:

$$F = \text{Peso} = \rho Ahg \quad (11)$$

Onde, ρ é a massa específica da substância, no caso do fluido, A é a área interna do recipiente, h é a altura da coluna líquida e g é a aceleração da gravidade.

Substituindo a equação (11), na equação (5), temos:

$$P = \frac{\rho Ahg}{A} \quad (12)$$

Como as áreas, tanto do fluido, como do recipiente, são iguais, a equação (12) fica:

$$P = \rho gh \quad (13)$$

A equação (13) expressa matematicamente a pressão da coluna líquida sobre o fundo de um recipiente que está submetido a um campo gravitacional externo, se considerar que tal fluido está na presença de uma atmosfera e que esta também exerce uma pressão sobre o fluido da mesma maneira que ele exerce sobre o fundo do recipiente. A equação acima é conhecida como lei de Steven a qual pode ser escrita na forma:

$$P = P_A + \rho gh \quad (14)$$

Onde P_A é a pressão atmosférica.

A pressão atmosférica possui o valor de 76 cm de mercúrio, experiência feita por Torricelli, que pegou um tubo de vidro contendo mercúrio. Ao inverter o tubo com a

parte inferior fechado, abrindo-o posteriormente numa travessa que também continha mercúrio. Ao permitir que o fluido caísse Torricelli percebeu que o fluido só escoava até o limite onde a pressão interna do tubo se igualasse à pressão da atmosfera, a figura 2.10 exemplifica este experimento. Aplicando-se a lei de Steven, equação (14), onde ρ era a densidade do mercúrio, g é o valor da aceleração da gravidade no nível do mar e h é o valor da altura da coluna de mercúrio, Torricelli obteve-se um valor aproximadamente dado por:

$$76 \text{ cm de Hg} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ atm.}$$

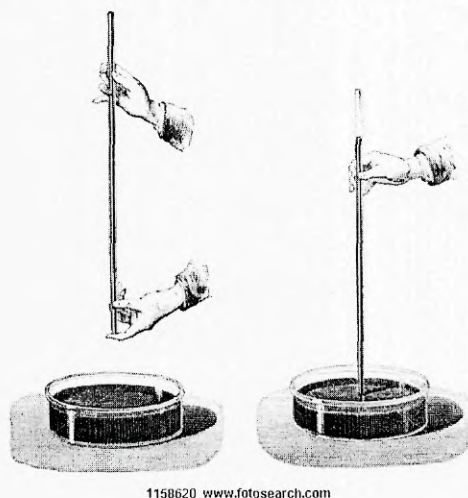


Fig. 2.10. Barômetro de mercúrio. Experimento realizado por Torricelli em 1643. [12]

2.7 – Observações sobre a Lei de Steven

Verificamos, ao analisar esta lei, em primeiro lugar, a dependência da pressão que um fluido exerce sobre o fundo do recipiente com o aumento da coluna líquida. Ou seja, observamos que sua pressão cresce linearmente conforme cresce a profundidade. Sabemos que a humanidade tem uma sede muito grande de saber. Uma das questões bem presente no mundo antigo era conhecer ou de estimar a massa do ar atmosférico. Existia a teoria de que nada mais pesado do que o ar poderia voar, portanto era imprescindível conhecer se esta tal massa seria suficientemente boa para erguer uma aeronave, se fosse possível, quantas pessoas poderiam voar ao mesmo tempo. De posse da lei de Steven, pode-se estimar a altura da atmosfera terrestre, utilizando esta lei para um ponto onde a pressão fosse nula. Conhecendo-se o valor para o raio da terra, podemos estimar, também, o volume do ar atmosférico e considerando a densidade do

ar constante, pode-se chegar a um valor bastante satisfatório sobre o a massa do ar atmosférico e em seguida o seu peso.

Outra forma encontrada foi utilizar a equação (5), onde P seria o valor da pressão atmosférica e A é o valor estimado da superfície terrestre. Sabia-se o valor da pressão que o ar fazia sobre a superfície da Terra ao nível do mar com a experiência de Torricelli, e conhecia-se também o valor da superfície da Terra, somente restando o valor da força e esta força seria o peso do Ar. Agora existiam duas maneiras de se estimar o valor desta força e agora a humanidade poderia compará-las.

Outra consideração a se fazer é que para uma mesma altura, só poderá existir uma única pressão num líquido em repouso, se selecionarmos todos os pontos de uma região no interior de um fluido sem variar o valor da altura, surge, então, uma superfície onde todos os pontos nela contidos possuirão a mesma pressão, é o que chamamos de superfícies isobáricas. Podemos traçar o perfil destas superfícies através de linhas de superfícies isobáricas.

Na figura 2.11, temos dois potes de capacidades diferentes ligados por um tubo flexível de modo que o fluido quando colocado em um pote poderá escoar para o outro pote, observe que em dado momento o líquido em ambos entram em equilíbrio. Observando a linha que determina o nível podemos constatar que eles se equilibram, pois, a pressão é a mesma nos dois lados. Portanto se marcarmos um ponto no interior de um pote e se este ponto estiver nivelado com outro ponto no interior do outro pote tais pontos possuirão mesma pressão e se ligarmos estes pontos por uma reta ela representará o perfil de uma superfície isobárica.

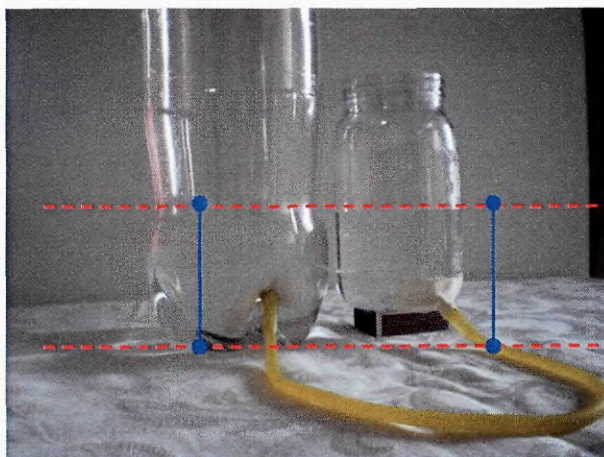


Fig. 2.11. Representa o comportamento de linhas de superfícies isobáricas. Observe que para um mesmo ponto no interior do mesmo fluido o valor da pressão não se altera.

2.8 – Princípio dos Vasos Comunicantes

Um sistema de vasos comunicantes constitui-se de uma ligação feita por um tubo entre dois ou mais recipientes de modo que o fluido em um recipiente poderá escoar livremente através do tubo para o outro recipiente. Cada uma das partes deste sistema é preenchida por um fluido cujas densidades podem ou não ser diferentes desde que tais fluidos sejam imiscíveis. Uma vez que os líquidos se misturem o sistema reagirá com se ambos fossem um único fluido, portanto este caso não nos parece interessante no momento.

Em primeiro plano, quando pegamos um único fluido e o colocamos em recipientes comunicantes de formatos diferentes, observa-se que este fluido atinge o mesmo nível para todos eles, não importando o formato do recipiente que o contém. Na figura 2.11, podemos observar uma situação onde, dois vasos de formatos diferentes, ao serem preenchidos por água se nivelam. A figura 2.12, abaixo ilustra um sistema composto por diversos vasos que se comunicam por um tubo, cada vaso possui um formato muito diferente do outro, mas como o fluido que os percorre é o mesmo, em todos os vasos ele vemos que seu nível não se altera de vaso para vaso.



Fig. 2.12. Exibe um conjunto de vasos comunicante com os mais diversos formatos. Observe que a altura do líquido é a mesma em todos eles. [13]

Num segundo plano quando lidamos com fluidos diferentes e imiscíveis, neste caso, podemos estudar seus efeitos de duas maneiras distintas. A primeira seria colocar os fluidos em questão num mesmo recipiente, onde um líquido se comunica diretamente com o outro. Nesta ocasião, observa-se que o fluido mais denso se deposita sob o fluido de densidade menor, como por exemplo, a água e óleo. A figura 2.13, abaixo ilustra

uma situação onde colocamos dois líquidos imiscíveis se comunicando no interior de um vaso. Observe que o fluido de maior densidade se deposita na parte mais baixa do recipiente, enquanto o fluido de menor densidade se deposita na parte superior do recipiente.



Fig. 2.13. Foto de um recipiente onde colocamos dois líquidos imiscíveis, no caso água a óleo [14].

Posteriormente podemos colocar os fluidos imiscíveis em recipientes diferentes que se comunicam por um tubo. O que se observa, neste caso, é que entre eles ocorre, após o equilíbrio estabelecido, um desnível entre os fluidos de cada recipiente. A princípio podemos pensar que isto viola a Lei de Steven, todavia este fenômeno a ratifica porque o desnível recorrente se deve exclusivamente pelo fato de que os fluidos possuem densidades diferentes.

Para que ambos possam exercer a mesma pressão na interface de separação dos fluidos é necessário que o fluido cuja densidade seja menor possua a altura da coluna líquida maior do que a altura do fluido de menor densidade. Ou seja, é necessário que haja um maior volume de fluido de menor densidade do que a coluna onde temos o fluido de densidade maior. A figura 2.14 representa uma situação onde dois fluidos de densidades diferentes são postos em um tubo em “U”.

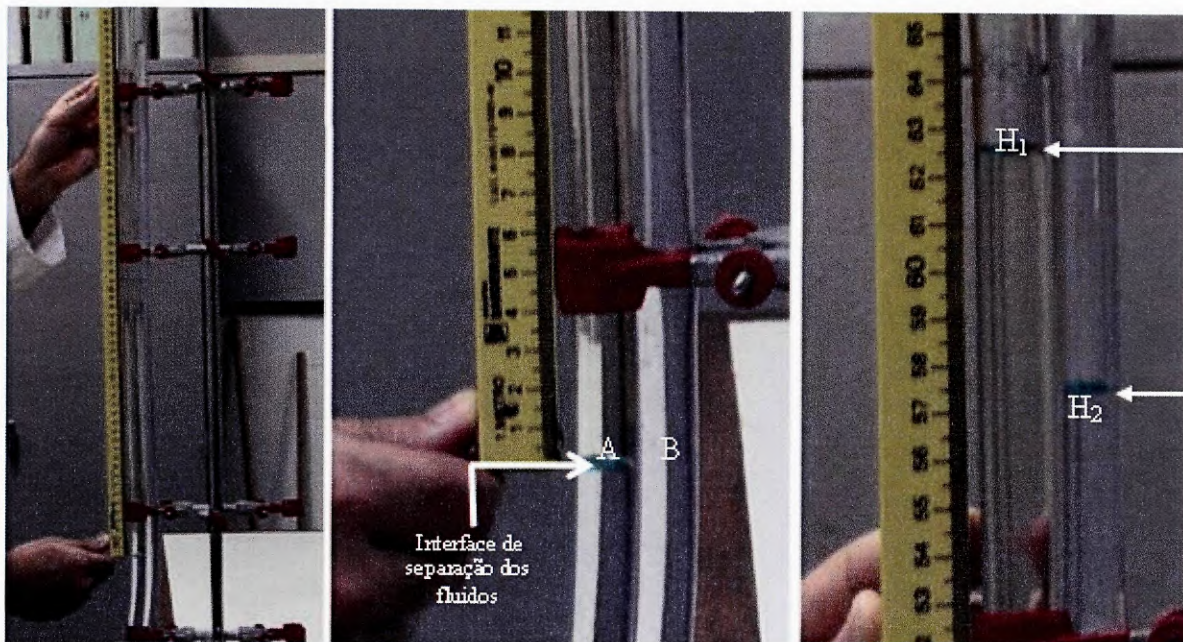


Fig. 2.14. A figura mostra a situação onde dois líquidos imiscíveis são colocados em um tubo em "U" [15].

Pela lei de Steven, sabemos que a pressão nos pontos A e B são iguais, pois estão em um mesmo nível em um mesmo fluido, portanto:

$$P_A = P_B \quad (15)$$

Porém:

$$P_A = P_0 + \rho_1 g h_1 \quad (16)$$

$$P_B = P_0 + \rho_2 g h_2 \quad (17)$$

Como $P_A = P_B$ fica:

$$P_0 + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2 \quad (18)$$

Podemos subtrair P_0 em ambos os membros da igualdade, assim:

$$\cancel{P_0} + \rho_1 g h_1 = \cancel{P_0} + \rho_2 g h_2 \quad (19)$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \quad (20)$$

O mesmo ocorre com o valor de g , pois ambos os corpos estão sujeitos à mesma atração gravitacional.

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad (21)$$

Assim, concluímos que:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad (22)$$

Ou seja, a altura em uma coluna líquida depende diretamente das densidades dos dois fluidos e de suas alturas.

2.9 – Princípio de Pascal

Blaise Pascal (1623-1662) foi um físico, filósofo e matemático francês [5] que morreu aos trinta e nove anos, em Paris em 1662. Há que diga ser esta uma de suas afirmações: “O coração tem razões que a própria razão desconhece” [14]. Como matemático se destacou pela resolução de problemas importantes da geometria. Como físico, esclareceu o princípio barométrico, a prensa hidráulica, e a transmissibilidade das pressões. Tais princípios são atualmente empregados aos elevadores hidráulicos de postos de combustíveis e aos freios hidráulicos foram descobertos por Pascal.

Seus estudos mostraram que o acréscimo de pressão produzido num líquido em equilíbrio, por menor que seja, transmite-se integralmente a todos os pontos deste fluido. Uma aplicação simples deste princípio é a prensa hidráulica. A prensa basicamente é um dispositivo com dois vasos comunicantes, que possui dois êmbolos de diferentes áreas sobre a superfície do líquido.

Como já vimos, para uma mesma profundidade no interior de um mesmo fluido, obtemos um mesmo valor de pressão. Portanto:

$$P_A = P_B \quad (22)$$

Como o valor da pressão num ponto i , no caso, P_i pode ser expressa pela fórmula:

$$P_i = \frac{F_i}{A_i} \quad (23)$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (24)$$

$$P_1 = P_2 \quad (25)$$

$$P_1 - P_2 = 0 \quad (26)$$

$$\Delta P = 0 \quad (27)$$

Ou seja, uma determinada variação de pressão no interior de um tudo, é distribuída integralmente a todos os pontos do líquido [6] e das paredes do recipiente, a fim de que não haja diferença de pressão no interior do fluido, a compreensão deste princípio possibilitou a criação da prensa hidráulica. A figura 2.15 representa sistema onde há duas seringas ligadas por um tubo de borracha, ela reproduz uma prensa hidráulica para fins didáticos.



Fig. 2.15. Representa um exemplo de prensa hidráulica utilizada como modelo para alunos do ensino fundamental.

2.10 – Empuxo de Arquimedes.

Alguns livros contam, que o sábio grego Arquimedes (282-212 a.C.) [5] descobriu, enquanto tomava banho, que um corpo imerso na água se torna mais leve devido a uma força, exercida pelo líquido sobre o corpo, vertical e para cima, que “alivia” o peso do corpo. Essa força, do líquido sobre o corpo, é denominada **empuxo**.

Os livros também contam que ele recebeu a incumbência de analisar uma coroa e sem danificá-la dizer se ela era totalmente de ouro ou não. Ao refletir sobre este problema Arquimedes observou que uma banheira estando cheia, caso um corpo penetre na água o volume de água que sai da banheira é exatamente o volume do corpo que entrou nela. Desta forma poderia se conhecer o volume da coroa e calcular a sua densidade. E comparar com a densidade do ouro e desta forma era factível de se constatar se a coroa era totalmente de ouro ou não.

Outra observação feita por Arquimedes era que um corpo, ao penetrar na água ficava mais leve do que quando estava no ar. Obviamente sabia-se que a presença do fluido era crucial para causar uma “leveza” no corpo. Era também claro que o tipo de material também era de fundamental importância, pois, certos materiais afundavam enquanto outros materiais flutuavam.

Para compreendermos esta parte, iremos aplicar a lei de Stevin sobre um corpo totalmente submerso em água. A figura 2.16, ilustra uma situação na qual uma seringa é colocada no interior de uma garrafa PET de dois litros. Sabe-se que ela inicialmente flutua sobre o fluido, porém vemos esta mesma seringa afundar quando tampamos e aumentamos a pressão no interior da garrafa. De acordo com a pressão no interior dela vemos a seringa assumir valores de altura diferentes no interior dela.

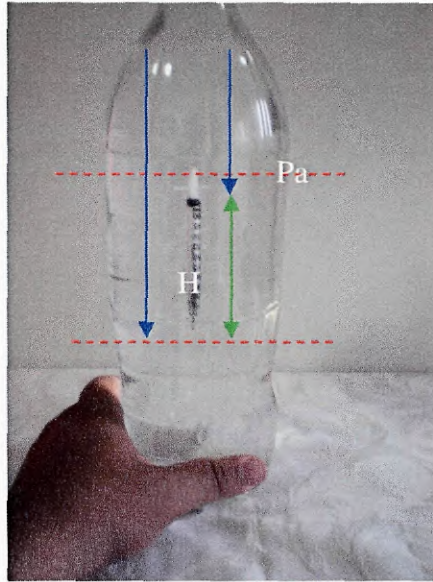


Fig. 2.16- Objeto mergulhado num fluido de densidade ρ . A figura acima foi tirada num momento em que a força peso e o empuxo são iguais.

A pressão em A e B valem, respectivamente:

$$P_A = P_0 + \rho g z_A \quad (28)$$

$$P_B = P_0 + \rho g z_B \quad (29)$$

Sabemos que a pressão em P_B é maior do que em P_A devido à profundidade. Assim entendemos que o corpo tenderá a ir para cima. Podemos calcular a diferença de pressão sobre os dois pontos no bloco.

$$P_B - P_A = P_0 + \rho g z_B - P_0 - \rho g z_A \quad (30)$$

$$P_B - P_A = \rho g (z_B - z_A) \quad (31)$$

$$P_B - P_A = \rho g h \quad (32)$$

Onde, ρ é a densidade do fluido, g é a aceleração da gravidade e h é a altura do objeto.

Podemos ainda calcular a força sobre o objeto usando a fórmula (6). Supondo que as áreas nas duas extremidades do objeto sejam iguais:

$$F = (P_H - P_A)A \quad (33)$$

A, é o valor da área transversal do objeto.

$$F = \rho ghA \quad (34)$$

Como h é a altura do objeto e A é a área do objeto, como na fórmula (8) temos que seu produto é o volume do objeto.

$$F = \rho gV \quad (35)$$

Pela fórmula (4) temos:

$$M = \rho V \quad (36)$$

Onde ρ é a densidade do fluido e V é o volume do corpo submerso na água, então M é a massa do fluido deslocado pelo corpo do objeto:

$$F = Mg = \text{Peso da porção do fluido deslocado pelo objeto [6]}. \quad (37)$$

A ação de o objeto empurrar o fluido para fora de onde estava, faz o fluido empurrar o objeto para cima, ou seja, estas forças formam, um par de ação e reação. A força que o fluido faz sobre o objeto é o que chamamos de **empuxo E**, ela possui resultante de módulo igual a $\rho_{(\text{do fluido})} gV_{(\text{do objeto})}$. Sua direção é vertical e seu sentido é contrário ao da entrada do objeto no fluido, ou seja, aponta de modo a fazer o objeto sair do fluido. Isto explica o fato de quando estamos em uma piscina temos a sensação de estarmos mais leves, pois o empuxo sobre o nosso corpo possui a mesma direção do que a força peso, porém no sentido contrário a ele. De modo que o que sentimos é o nosso peso aparente e não o peso real.

2.11 – Hidrodinâmica

Até o momento, estudamos apenas fluidos em repouso (Hidrostática). A seguir descreveremos os conceitos básicos relativos aos fluidos em movimento (Hidrodinâmica).

2.12 – Considerações Iniciais Para a Hidrodinâmica.

É um fato constatado, pela livre e espontânea experimentação diária, e vivida por qualquer pessoa que um fluido pode se movimentar quando posto em determinadas condições. Porém o fato deste fenômeno ser tão comum em nosso dia-a-dia acaba por não nos despertar a curiosidade do por que ele ocorre. É um fato comum saber o que ocorrerá se pusermos um fluido em um recipiente sem tampa e o despejarmos posteriormente. Entendemos, sem fazer grande esforço, qual é o melhor lugar que uma caixa de água de uma residência deve ficar para que a água nela contida possa escoar livremente por toda a casa. Mas o que é necessário fazer para movimentarmos um fluido?

É uma cena extremamente incomum observar um aluno perguntando a um professor por que a água se movimenta ou o que é necessário se fazer para que ele deixe seu estado de repouso e passe a movimentar-se com uma velocidade qualquer. Apesar de corriqueira esta situação, poucos são capazes de explicá-la e basicamente o estudo, tanto dos motivos que levam à água ao movimento, quanto os efeitos que isto produz é o que trata a Hidrodinâmica.

Podemos pensar na Hidrodinâmica como a generalização da Hidrostática, ou seja, podemos pensar na Hidrostática como a parte da Hidrodinâmica cuja velocidade de escoamento é nula. Assim, tudo que está relacionado, com o seu movimento, seu escoamento, efeitos que eles possam ter, além de aplicações está relacionado com esta disciplina. Sendo importante lembrar que, nesta parte, nos limitaremos a alguns tópicos a fim de abordar assuntos que alunos do ensino fundamental e médio possam acompanhar. Portanto é também conveniente, antes de começarmos, estabelecemos as diretrizes daquilo que chamamos de Hidrodinâmica.

Vimos no capítulo anterior que o fluido pode se movimentar se nele for aplicado uma força, ou seja, se em um dado ponto do fluido produzir-se um gradiente de

pressão de modo que ele não tenha que empurrar o fluido contra a gravidade. Neste caso o fluido irá se movimentar por menor que seja esta força, pois o atrito entre as camadas de um fluido ideal não existem, ou seja, não há resistência à força produzida, assim o fluido poderá escoar livremente sempre tentando encontrar uma região do espaço a fim de se equilibrar, ou então, mudando seu formato indefinidamente sem mudar seu volume, exatamente quando introduzimos uma barra de ferro em um tubo cilíndrico com certo volume de fluido dentro, enquanto introduzimos a barra de ferro no fluido ele muda seu formato subindo a coluna cilíndrica, porém, sem mudar seu volume.

Assim dizemos que todo sistema Hidrodinâmico ocorre onde a velocidade do fluido não é nula. No entanto, se um sistema possui uma grande velocidade surgem efeitos devido à grande velocidade auferidos a este sistema, tais como a turbulência. Portanto é conveniente que o sistema Hidrodinâmico que mencionarmos neste trabalho seja considerado de tal modo que não haja tais efeitos deste tipo. Por isso, é necessário que o fluido estudado deva obedecer às seguintes características descritas a seguir:

- O fluido em questão é um líquido incompressível [16].
- O fluido escoa num regime estacionário, ou seja, de um modo onde linhas de pressão são, durante todo o trajeto do fluido, paralelas entre si [16].
- A velocidade de escoamento do fluido é constante em determinado ponto do tubo [16].
- A viscosidade do fluido em questão é nula [16].

Tais restrições impostas indicam a idéia de que o fluido em questão é ideal. Experimentalmente, um fluido sofre uma contração de seu volume menor que 0,5%, para um sistema que foi submetido a uma pressão maior do que 100 atmosferas [6], ou seja, podemos desprezar essa variação para pressões muito menores do que 100 atm.

Como a velocidade é constante de regime permanente e de viscosidade nula, indica também que as variações de temperatura ao longo do tubo serão nulas. Assim, o estudo deste escoamento é feito sem se levar consideração outros tipos de fenômenos físicos, tais como dilatação volumétrica do fluido, etc.

2.13 – Escoamento em Regime Estacionário e em Regime Turbulento

Consideremos, inicialmente, um sistema hidrodinâmico, onde o escoamento além de satisfazer as condições acima, também ocorra de forma unidirecional, para facilitar-nos a compreensão imagine um tubo ligado em uma extremidade a um reservatório de água e do outro lado ligado a um depósito onde a água do tubo é depositada nela. E no segundo reservatório existe uma bomba que joga a água de um reservatório para outro sem interferir diretamente neste sistema. Sabemos que para um sistema deste tipo possa escoar é necessário gerar um gradiente de pressão em um dado ponto do fluido, ou seja, é necessário que em um lado do fluido haja um desequilíbrio, assim devemos fazer com que a pressão em um lado do fluido seja maior do que no lado em se quer que o fluido escoe.

Inicialmente, o sistema está em repouso, então é gerada a pressão em determinado ponto do fluido fazendo, ele alterar sua velocidade de zero para um valor diferente de zero, neste momento o fluido está em movimento acelerado e o estudo neste instante não irá nos interessar. Após esta etapa e uma vez que o gradiente de pressão não se altere o fluido passa a escoar livremente, então o líquido retorna a um estado inercial, porém com velocidade constante e diferente de zero. O fato de haver pressão em dado ponto do fluido, sugere que há uma força diferente de zero, portanto a velocidade não deveria ser constante, porém esta força não está sendo aplicada em uma porção de fluido, mas ela é aplicada em diferentes porções de fluido, ou seja, porções diferentes passam pela mesma posição na bomba, isso permite ao fluido não acelerar indefinidamente. Lembremos que a força atrito entre as camadas de água no sistema em questão é nula. O campo vetorial das velocidades do fluido ao longo do tubo para de variar no tempo de modo que estas velocidades ao longo do tubo ficam paralelas entre si. Ao atingir este momento de estabilidade e considerando que o fluido permaneça assim, dizemos que o sistema possui um **escoamento estacionário**.

A figura 2.17 abaixo mostra duas situações, onde na primeira temos um exemplo de escoamento laminar de regime estacionário e na segunda situação temos um exemplo de escoamento turbulento.

Escoamento Laminar em Regime Estacionário.

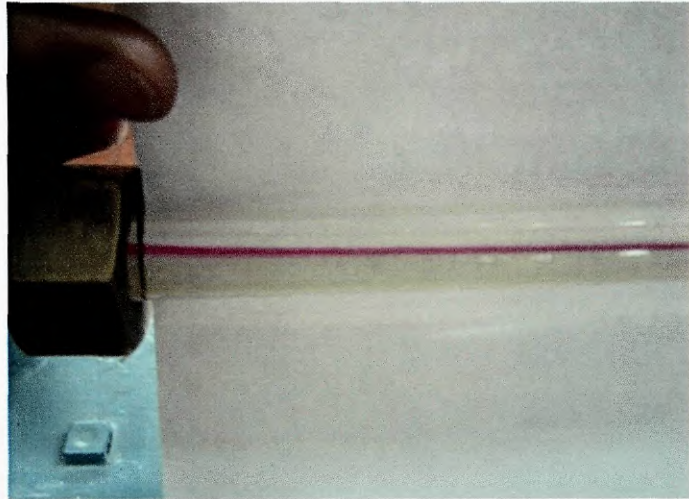


Fig. 2.17. Escoamento laminar [17].

A foto acima mostra um escoamento laminar (filete contínuo de permanganato de potássio - filete em tom de rosa) em laboratório de mecânica dos fluidos.

A ilustração abaixo, figura 2.18, mostra um exemplo de escoamento em Regime Turbulento. Observe que não há um filete de permanganato de potássio, pois as linhas de pressão se cruzam e o campo da velocidade das linhas ao longo do fluido varia no decorrer do tempo.



Fig. 2.18. Escoamento turbulento [17].

2.14 – Fluxo de Massa

Supondo um escoamento estacionário, e que o fluido em questão é incompressível, queremos descrever como flui a massa do corpo de um ponto para o outro. Podemos entender que a quantidade de massa deslocada em um ponto 1, desloca a mesma quantidade de massa em um ponto 2 adjacente a ele. Portanto podemos supor que:

$$M_1 = M_2 \quad (38)$$

É extremamente simples verificar a validade desta afirmação com a ajuda de um sistema de vasos comunicantes postos em alturas diferentes. Como já vimos acima, se preenchermos este sistema com um fluido ele irá atingir o equilíbrio quando a pressão for igual mesma em ambos os lados, ficando nivelado em ambos os recipientes mesmo que os potes forem colocados em alturas diferentes. Neste caso desejamos o equilíbrio quando a água estiver a ponto de transbordar no segundo pote. Se colocarmos um volume V de água no primeiro pote e observarmos o fluido transbordar no segundo pote, constataremos que o volume que escoou de um lado é igual ao volume que entrou no outro primeiro lado.

Também podemos montar um sistema de um sistema que lembra uma prensa hidráulica posta na direção horizontal. Na medida em que fazemos o fluido escoar saindo pelo primeiro tubo observamos que a mesma quantidade de fluido penetra pelo outro tubo. Observe o volume que sai por uma seringa é o mesmo volume que penetra na outra. Cujas área da secção transversal vale A , observamos que para uma variação de tempo Δt , o líquido se movimenta de uma distância ΔL . A figura 2.19 é um exemplo deste sistema montado a partir de peças simples para fins didáticos.

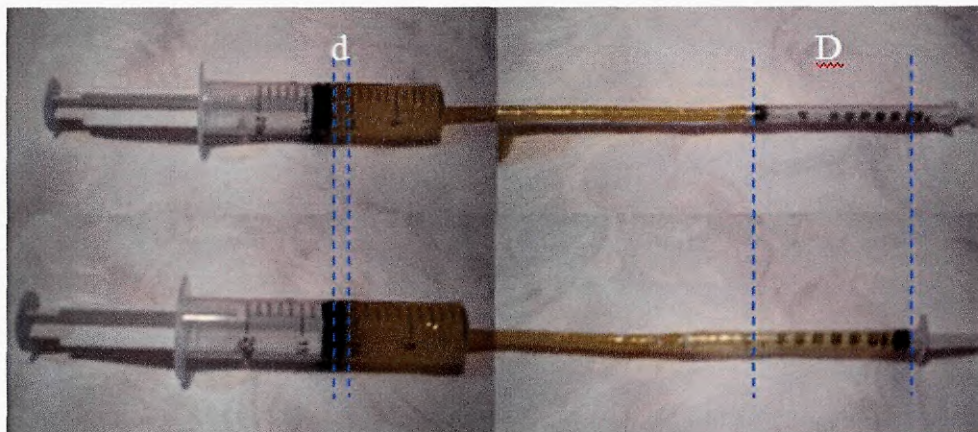


Fig. 2.19. Fluido escoando em um tubo.

Chamemos de fluxo de massa o volume de líquido por unidade de tempo que flui em um ponto 1 ao qual possui uma área de secção transversal A_1 . Ou seja, o fluxo de massa nada mais é do que a vazão de água em determinada secção do fluido. Portanto:

$$\text{Fluxo de Massa} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (39)$$

$$\text{Seja } \Delta M = \rho \Delta V, \text{ a equação do fluxo fica:} \quad (40)$$

$$\Delta V = A \Delta L \quad (41)$$

$$\Delta L = v \Delta t \quad (42)$$

$$\Delta M = \rho A v \Delta t \quad (43)$$

Porém, o fluxo de massa é dado pela fórmula acima, assim:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \rho A v \quad (44)$$

Assim podemos observar que o fluxo de massa depende diretamente da densidade do fluido, da área da secção transversal do fluido e da velocidade com que o líquido flui nesta região do tubo.

Dividindo-se ambos os membros por ρ , a equação (44), fica:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = A v \quad (45)$$

Onde, $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ é a grandeza física denominada vazão Q . Ou seja:

$$Q = A v \quad (46)$$

2.15 – Equação da Continuidade

De acordo com as considerações iniciais um fluido suposto ideal, possui como uma de suas características principais o fato de ser incompressível. A princípio essa característica parece violar uma das propriedades daquilo que chamamos matéria então o fluido ideal não seria algo que pudéssemos chamar de material. Contudo, sabemos que os fluidos reais são materiais, portanto, eles não podem violar tal propriedade. Assim é necessário esclarecer primeiramente que o fluido real pode ser comprimido sim, porém a pressão envolvida em tal processo é de uma ordem tão grande que foge, e muito, com as compressões envolvidas nos processos adotados neste trabalho. E como aqui nos referimos a pressões muito menores que as necessárias para se comprimir significativamente a água podemos dizer que ela é incompressível nestes termos.

Ser incompressível significa primeiramente que o volume do fluido em questão não sofrerá variações perceptíveis ou que gerem efeitos a serem considerados além do fato de não haver variações da sua densidade ao longo do tubo. Assim analisaremos a influência que tal propriedade possa ter sobre o escoamento do fluido quando este passar por uma região 1, onde a área da secção transversal é A_1 para uma região 2, cuja área da secção transversal é A_2 .

Sabemos que o fluxo de massa dever ser constante, devido à característica de ser incompressível. Tal fluxo deve ser o mesmo em qualquer ponto do fluido, não importando o quão grande uma região é em relação à outra. Assim compreendemos, observando a equação do fluxo e como a densidade não muda, para secções diferentes do tubo deve haver velocidades diferentes a fim de não se alterar o fluxo.

As figuras 2.20 (a) e (b) abaixo ilustram uma situação onde um fluido sai de uma região para outra região, onde a área da secção transversal é bem maior do que aquela de onde saiu. O fato observado neste caso é que o volume escoado de uma região é o mesmo que penetra na outra para o mesmo intervalo de tempo.

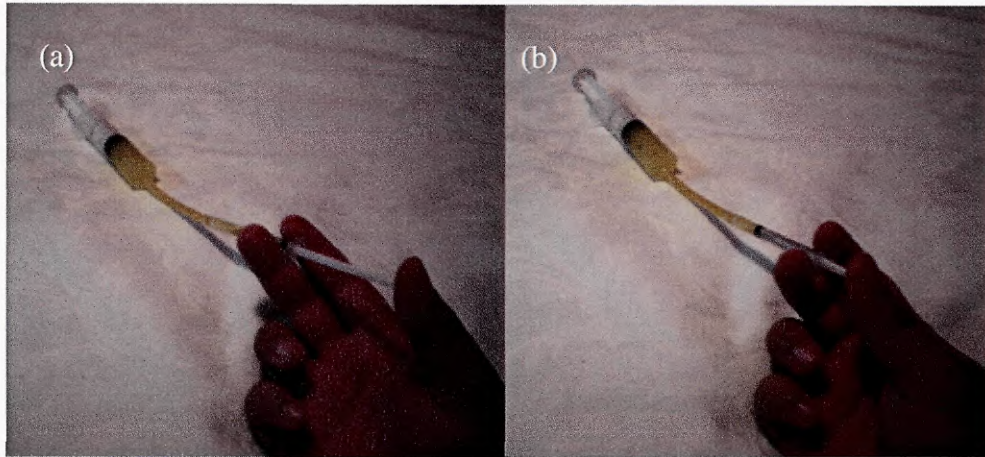


Fig. 2.20. As figuras representam o escoamento de um fluido por um tubo de secções distintas.

A ilustração abaixo é uma representação simbólica do que ocorre na figura 2.20 acima para que consigamos entender o que ocorre com o sistema em movimento. Observe que o fluido sai da região 1, cuja área da seção onde possui uma velocidade v_1 , passando por uma região 2, onde a área é A_2 , cuja velocidade é v_2 . Como $A_2 > A_1$ especulamos ser $v_2 < v_1$, para que o fluxo seja constante.

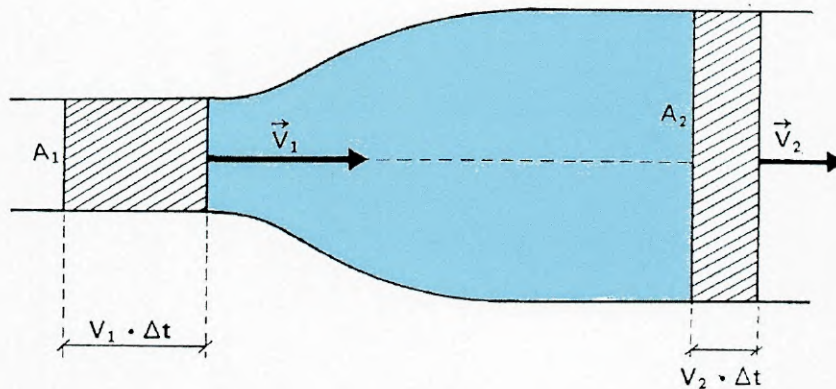


Fig. 2.21. Fluido escoando em um tubo em secções distintas.

Assim sabemos que o fluxo de massa não varia, aplicando-se a equação (39), temos:

$$\frac{\Delta M_1}{\Delta t} = \frac{\Delta M_2}{\Delta t} \quad (47)$$

Aplicando-se a equação (43) em ambos os membros temos:

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (48)$$

Como o fluido é incompressível a densidade em qualquer ponto será sempre a mesma, portanto:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (49)$$

Vemos que o produto $A_1 v_1$ é constante, ou seja, havendo conservação de massa, a velocidade do fluido dependerá da área da secção transversal do tubo por onde o fluido passa.

2.16 – Equação de Bernoulli

A Equação de Bernoulli foi publicada em 1734 no livro Hidrodinâmica por Daniel Bernoulli (1700 – 1782), esta equação sistematiza o comportamento de um fluido quando este permanece em movimento uniforme no interior. Tal equação hoje possui várias aplicações, dentre as quais se destacam o setor náutico, o setor aéreo, as empresas de energia que muitas das vezes necessitam transportar seus produtos por um gasoduto ou por um oleoduto, companhias de gás para uso doméstico e empresas de água para o consumo da população dentre outras. Nesta parte do trabalho iremos demonstrar esta equação aplicando ao movimento de um fluido perfeito, levando em conta todas as considerações acima, aplicando-as na lei da conservação da energia.

A figura 2.22 abaixo ilustra uma situação onde um fluido se movimenta no interior de um tubo nos pontos destacados iremos calcular o trabalho da força, sua energia cinética e energia potencial gravitacional do fluido.

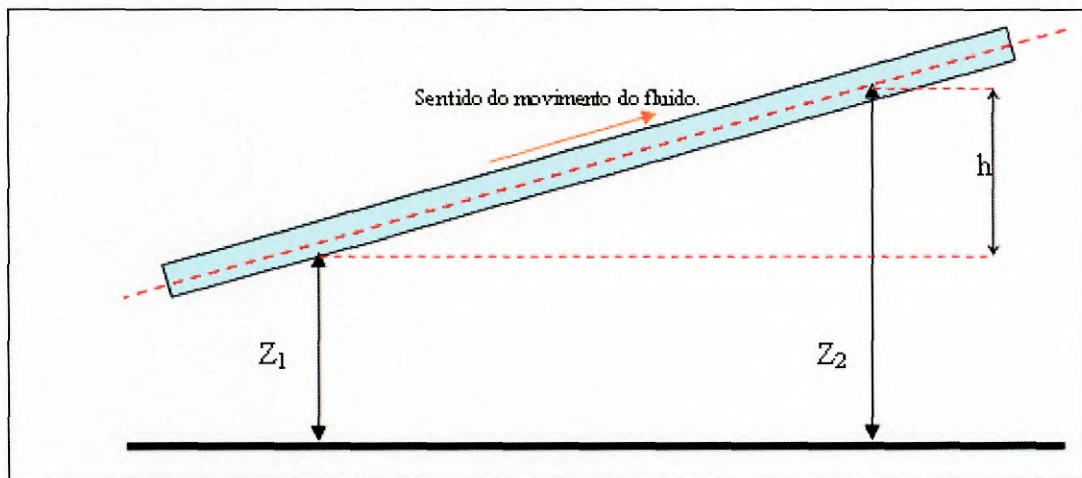


Fig. 2.22. Ilustração de um tubo por onde se movimenta um fluido.

Primeiramente temos o conhecimento de que qualquer objeto pode se movimentar se nele for aplicado uma força, isto fica evidenciado, pois, temos que em um dos lados do fluido a pressão é maior do que no outro lado dele para haver movimento dele. A idéia de que há pressão revela que há uma força atuando sobre o fluido ao longo do tubo. Tal força imprime ao conjunto movimento fazendo a posição do fluido variar ao longo do tempo. Assim supomos que todo trabalho exercido sobre o fluido se transformou em energia, seja esta energia a cinética ou a energia potencial, ou em ambas, caso o fluido tenha que subir pelas paredes do tubo vencendo a gravidade. Então podemos relacionar as equações da seguinte maneira, primeiramente calculando o trabalho da força:

$$W_{total} = \Sigma W_i \quad (50)$$

$$W = F_i d_i \cos \Theta_i \quad (51)$$

Onde F é a força aplicada ao fluido d é a distância percorrida por ele e Θ é o ângulo entre a força aplicada e a distância percorrida. Na verdade, $\cos \Theta$ surge por que o produto Fd , na verdade é um produto vetorial que sugere a idéia de que toda força tangente ao fluido não exercerá trabalho sobre ele. Isto significa que este fluido está sujeito a uma pressão de compressão, sendo a pressão de cisalhamento igual a zero. Desta forma sabemos que a força é perpendicular à área da secção transversal do fluido ao longo do tubo, portanto o ângulo Θ entre a força e o deslocamento dele é igual a 0° , quando a força empurra o fluido, ou seja, se a força for a favor do deslocamento dele, e

180° quando a força é contrária ao deslocamento do fluido. Como $\cos 0 = 1$ e $\cos 180 = -1$, a equação acima se reduz para.

$$W = \pm F_i d_i \quad (52)$$

Sendo positivo para pontos onde a força é a favor ao deslocamento e negativo quando a força for contrária ao deslocamento e i é o ponto o qual estamos analisando o fluido. Seja o ponto $i = 1$, um ponto onde o trabalho da força faz movimentar o sistema, sabemos que nele o trabalho é positivo, pois a força aponta para o mesmo sentido que o deslocamento.

$$W_1 = F_1 d_1 \quad (53)$$

Onde F_1 , é a força no ponto 1 e d_1 é o deslocamento horizontal da massa de água em $i = 1$.

Seja o ponto 2 um ponto que oferece resistência ao movimento do fluido. Pelo fato de o fluido estar em movimento uniforme, sabemos que há uma força de resistência ao movimento dele, tal força constitui o cerne da discussão nesta parte do trabalho, se o atrito entre as camadas do fluido é nulo qual seria esta força que se opõe ao movimento do fluido? A força em questão seria a força de resistência ao movimento que as demais camadas do fluido exercem sobre o ponto estudado, levando em consideração um deslocamento horizontal sabemos que a força de resistência não é igual à força que produz movimento ao sistema, porém podemos encontrar um valor tal que tais forças sejam iguais e o fluido possa se movimentar uniformemente. O trabalho da força em $i = 2$, o trabalho de força que exerce certa resistência ao movimento do sistema, devido à pressão das demais camadas nesta região.

$$W_2 = -F_2 d_2 \quad (54)$$

Onde d_2 é o deslocamento horizontal da massa de água em $i = 2$.

Portanto:

$$\Sigma W_i = W_1 + W_2 \quad (55)$$

$$W_1 + W_2 = F_1 d_1 - F_2 d_2 \quad (56)$$

$$\Sigma W_i = F_1 d_1 - F_2 d_2 \quad (57)$$

Obviamente vemos que o trabalho da força aplicado ao sistema provoca movimento nele. Supondo que toda a energia cinética do sistema é resultado direto do trabalho da força, podemos descobrir qual é a parcela do trabalho que se converteu em K, descobrindo o valor da variação de energia cinética (ΔK) no sistema. Podemos calcular para dois pontos distintos o valor de K de forma análoga à feita para se obter o valor do trabalho da força.

Sendo K_i o valor da energia cinética no ponto i, vamos utilizar os pontos 1 e 2 que são os mesmos pontos utilizados para obtermos o valor do trabalho nas equações acima.

Observando as leis da mecânica, sabemos que a energia cinética é dada por:

$$K_i = \frac{1}{2} m v_i^2 \quad (58)$$

Onde K_i representa o valor da energia cinética do sistema no ponto i, m é a massa de fluido deslocado. O valor de m não recebe índice, pois, segundo a equação (58) sabemos que a massa é conservada em todas as regiões do fluido. E v_i é a velocidade do fluido no ponto i, pois para que haja conservação de massa em pontos diferentes devem existir velocidades diferentes, também devemos considerar que a velocidade do fluido sofre variações devido à inclinação natural do tubo, ou seja, uma parte do trabalho da força é gasto no sentido de fazer o fluido ganhar energia potencial gravitacional, questão que analisaremos posteriormente.

Ou seja:

$$K_2 = \frac{1}{2} m v_2^2 \text{ É a energia cinética na região } i = 2. \quad (59)$$

$$K_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 \text{ É a energia cinética na região } i = 1. \quad (60)$$

$$\Delta K = K_2 - K_1 \quad (61)$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}(mv_2^2 - mv_1^2) \quad (62)$$

Fazendo assim conseguimos obter toda a parcela do trabalho da força que é convertido em energia cinética (K). Porém ainda nos resta conhecermos qual é a parcela do trabalho da força que é convertido em energia potencial gravitacional (U).

Se entre os pontos $i = 1$ e $i = 2$, tivermos um desnível $\Delta z = h$, podemos por analogia dizer que a energia fornecida para o sistema passar de z_1 para z_2 se deve a uma parcela do trabalho que foi convertida em energia potencial.

Portanto, ao descobrirmos a variação de energia potencial (ΔU) estamos descobrindo a parcela de W que se converteu em U. Conhecemos da mecânica que a energia potencial gravitacional pode ser calculada pela fórmula:

$$U_i = mgz_i \quad (63)$$

Onde U_i é a energia potencial gravitacional da massa de água no ponto i , m é a porção de massa do fluido que está a uma altura z_i do solo e g é a aceleração da gravidade. Analisando dois pontos deste fluido podemos calcular qual a parcela do trabalho da força que está sendo utilizado para erguer a massa fluida do ponto z_1 até o ponto z_2 .

Sendo a energia potencial da massa de água no ponto $i = 2$.

$$U_2 = mgz_2 \quad (64)$$

E a energia potencial da massa de água no ponto $i = 1$.

$$U_1 = mhz_1 \quad (65)$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (66)$$

$$\Delta U = mg(z_2 - z_1) \quad (67)$$

Temos toda a quantidade de trabalho que se converteu em U. Uma vez conhecendo esta relação sabemos que em um sistema conservativo a todo trabalho realizado sobre o sistema é convertido em energia cinética ou em energia potencial gravitacional, no caso estamos supondo que to trabalho da força é a energia que em parte dá velocidade ao sistema e em parte permite a ele se movimentar em um sentido contrário ao da força peso. Assim, entendemos que todo o trabalho entre os pontos $i = 1$ e $i = 2$ é a soma algébrica das equações em x e y.

Então:

$$\Sigma W_i = \Delta K + \Delta U \quad (68)$$

$$\Sigma W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_2 - mgz_1 \quad (69)$$

Portanto:

$$F_1d_1 - F_2d_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_2 - mgz_1 \quad (70)$$

Assim:

$$F_1d_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + mgz_1 = F_2d_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + mgz_2 \quad (71)$$

Sabemos que

$$F_i = P_i A_i \quad (72)$$

$M_i = \rho A_i d_i$, como o fluido é incompressível, a densidade não varia ao longo da linha de corrente.

Deste modo a equação acima fica:

$$P_1 A_1 d_1 + \frac{1}{2} \rho A_1 d_1 v_1^2 + \rho A_1 d_1 g z_1 = P_2 A_2 d_2 + \frac{1}{2} \rho A_2 d_2 v_2^2 + \rho A_2 d_2 g z_2 \quad (73)$$

$$A_1 d_1 (P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1) = A_2 d_2 (P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2) \quad (74)$$

Como:

$$A_1 d_1 = A_2 d_2 \quad (75)$$

Pela equação da continuidade podemos dividir a equação em ambos os membros por $A_1 d_1$, assim a equação fica:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (76)$$

Ou seja:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = \text{const.} \quad (77)$$

2.17 – Fórmula de Torricelli.

A fórmula de Torricelli é uma aplicação da equação de Bernoulli, numa situação onde temos um recipiente que é continuamente alimentado de um modo tal que ao fazermos um pequeno orifício em sua base o nível de água nunca se altera, portanto a velocidade do nível de água é igual a zero. Aplicando este conceito na fórmula fica:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (78)$$

$$v_1 = 0 \quad (79)$$

$$P_1 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (80)$$

Outra consideração a se fazer é que a pressão atmosférica imediatamente após o orifício P_2 é praticamente igual à pressão atmosférica do nível de água P_1 , pois:

$$P_2 = P_1 + \rho_{(ar)} g (z_2 - z_1) \quad (82)$$

Como a densidade do ar é muito menor do que a densidade da água, concluímos que a alteração no valor da velocidade do jato de água é desprezível, assim desprezando a densidade do ar a equação fica:

$$P_2 = P_1 \quad (83)$$

$$\cancel{P}_1 + \rho g z_1 = \cancel{P}_1 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (84)$$

$$\rho g z_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (85)$$

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 = \rho g (z_1 - z_2) \quad (86)$$

Como: $z_1 - z_2 = h$, dividindo-se ambos os membros da igualdade por ρ e multiplicando-se por 2, a equação (86) fica:

$$v_2^2 = 2gh \quad (87)$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad (88)$$

Observe que a velocidade de do jato de água na fórmula de Torricelli consiste em uma boa aproximação aplicado a equação de Bernoulli quando a área do reservatório de água for muito maior do que a área do orifício por onde a água sai.

Utilizando a equação da continuidade:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (89)$$

Sendo V_1 a velocidade do nível de água e A_1 a área do reservatório, podemos dizer que V_1 :

$$v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} \quad (90)$$

Se o valor de $A_1 \gg A_2$, a velocidade do nível de água fica:

$$v_1 \rightarrow$$

(91)

2.18 – Tubo de Pitot

Num sistema hidrodinâmico as grandezas físicas estão relacionadas de modo que os efeitos e conseqüências podem ser calculados como vimos nos capítulos acima adotando como fluido a água. Todos seus efeitos estudados neste trabalho visam não violar as condições impostas no início do capítulo. E de acordo com a equação (77), sabemos que existe uma relação entre pressão e velocidade. Ou seja, podemos utilizar o valor da velocidade de escoamento para calcularmos a pressão do fluido em dado ponto do tubo. Tal relação leva-nos a crer ser também possível utilizar o valor da pressão do fluido para calcularmos sua velocidade. A aplicação desta idéia é o que chamamos tubo de Pitot.

O Tubo de Pitot é um tubo curvo onde em seu interior existe um fluido cuja densidade é maior do que a densidade do meio onde se está, sendo que uma ponta do tubo é encurvada de modo que sua abertura é posta paralelamente ao deslocamento do fluido do meio e a outra ponta é posta perpendicularmente ao deslocamento do fluido. A figura 2.23 representa o tubo de Pitot colocado no interior de outro tubo contendo um fluido ideal. Observe que o líquido no interior do tubo de Pitot sofre um desnível em função da velocidade de escoamento.

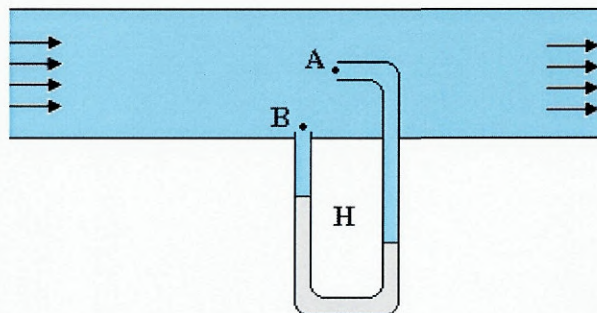


Fig. 2.23. Exemplo do tubo de Pitot. O fluido, no ponto A, possui velocidade nula, já no ponto B o fluido escoa sem sofrer alteração da sua velocidade.

A densidade do fluido em movimento é ρ_0 , já a densidade do fluido contido no interior do tubo é ρ_1 . Com ele têm-se a finalidade de se medir as variações de pressão entre dois pontos distintos do fluido através de seu desnível e conseqüentemente sua velocidade. No primeiro ponto (o ponto A), o fluido é freado pelo tubo, ou seja, sua velocidade é nula, a tal ponto se dá o nome de **Ponto de Estagnação**. No segundo ponto (B) que está perpendicular ao deslocamento do fluido a velocidade deste é v , ou seja, neste ponto ele quase não sofreu perturbação, portanto no ponto B a pressão é um pouco menor do que no ponto A fazendo com que o fluido do interior do tubo sofra um pequeno deslocamento a fim de equilibrar a pressão no conjunto.

Este desnível é diretamente proporcional à velocidade do fluido exterior. Assim este aparelho é utilizado para a determinação da velocidade do fluido em relação a um objeto, ou como no caso das aeronaves, a velocidade delas em relação ao ar. Com este tipo de aparelho obtemos as seguintes aplicações:

Podemos aplicar ao Tubo de Pitot, o conceito da equação de Bernoulli (equação 77) da seguinte forma:

$$P_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 + \rho g z_i = \text{const.}$$

No ponto $i = 1$ temos o ponto A, portanto P_A e v_A são a pressão e a velocidade do ponto A. No ponto $i = 2$ temos o ponto B e P_B e V_B são as pressões e a velocidade do ponto B. Para simplificarmos utilizaremos pontos que estejam nivelados entre si, também sabemos que no ponto de estagnação (A) a velocidade é nula. Sendo assim:

$$z_A = z_B \quad (93)$$

$$v_A = 0 \text{ (Ponto de Estagnação)} \quad (94)$$

Substituindo os valores na equação de Bernoulli fica:

$$P_A + \frac{1}{2} \rho \cancel{v_A^2} = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g (\cancel{z_B} - \cancel{z_A}) \quad (95)$$

$$P_A = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 \quad (96)$$

Assim, a equação da velocidade do fluido assume a forma:

$$v_B^2 = \frac{2(P_A - P_B)}{\rho_0} \quad (97)$$

Porém:

$$P_A - P_B = \rho_1 gh \quad (98)$$

Substituindo fica:

$$v_B^2 = \frac{2\rho_1 gh}{\rho_0} \quad (99)$$

$$v_B = \sqrt{2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) gh} \quad (100)$$

2.19 – Fenômeno de Venturi

Chama-se fenômeno de Venturi o nome do tipo de efeito que ocorre em um sistema hidrodinâmico onde o fluido encanado passa por uma espécie de estrangulamento. Este efeito foi estudado pela primeira vez pelo cientista Giambattista Venturi (1746 – 1822), que combinou a equação da continuidade com a equação de Bernoulli, porque acreditava que devido ao estrangulamento do cano a pressão nele deveria aumentar devido ao fato do espaço ser reduzido. Acreditava que se a vazão permanecesse constante o estrangulamento faria com que a velocidade do fluido aumentasse. Esta alteração da velocidade produziria uma força que resultaria em um aumento da pressão no fluido daquela região. Mas o que se constata é exatamente o oposto, devido ao aumento da velocidade a pressão naquela região fica menor do que nas regiões vizinhas gerando o efeito que está ilustrado na figura 2.24.

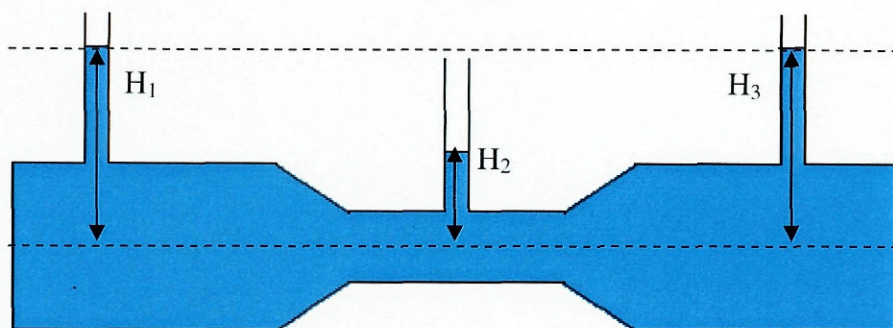


Fig. 2.24. É uma ilustração que mostra o fenômeno de Venturi, observe que onde há o estrangulamento a velocidade é maior, portanto nesta região a pressão é menor.

Observe que no ponto onde ocorre o estrangulamento a velocidade é maior, acarretando numa diminuição da pressão no local fazendo com que a altura da coluna de água nesta região seja menor do que nas outras. Podemos passar uma linha no interior do escoamento do fluido, ela servirá de referência para analisarmos o que ocorre com as pressões nos pontos um e dois do tubo. Aplicaremos a equação da continuidade à equação de Bernoulli da seguinte maneira:

Sabemos que:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (101)$$

Pois $z_1 = z_2$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (102)$$

Sabemos também que:

$$P_1 - P_2 = P_0 + \rho g z_1 - (P_0 + \rho g z_2) = \rho g (z_1 - z_2) \quad (103)$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h \quad (104)$$

Assim:

$$\rho gh = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \quad (105)$$

Dividindo-se ambos os membros por ρ e multiplicando-se por dois, temos:

$$2gh = v_2^2 - v_1^2 \quad (106)$$

Como, pela equação da continuidade (90) temos que: $v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) v_1$. Portanto,

podemos descobrir o valor de $v_2^2 - v_1^2$.

$$v_2^2 - v_1^2 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 v_1^2 - v_1^2 \quad (107)$$

Ou seja:

$$v_2^2 - v_1^2 = \left(\frac{A_1^2 - A_2^2}{A_2^2} \right) v_1^2 \quad (108)$$

Substituindo (108) na equação (106) temos:

$$2gh = \left(\frac{A_1^2 - A_2^2}{A_2^2} \right) v_1^2 \quad (109)$$

$$v_1^2 = 2gh \left(\frac{A_2^2}{A_1^2 - A_2^2} \right) \quad (110)$$

Assim:

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}} \quad (111)$$

Onde V_i é a velocidade de escoamento no ponto i , h é o desnível do fluido entre os tubos e A_i é o valor da área da secção transversal do ponto i .

Sua principal aplicação é o medidor de Venturi, empregado para medir a velocidade de escoamento ou a vazão numa tubulação. Também sabemos que o carburador funciona pelo mesmo princípio.

3 – APLICAÇÕES DA HIDROSTÁTICA E HIDRODINÂMICA

3.1 - Introdução

Pensar nestas disciplinas é, antes de tudo, pensar no desenvolvimento da humanidade. A água é o elemento fundamental para a manutenção da vida, sendo, portanto, elemento indispensável para o ser humano. É cabível especularmos que o homem cresceu e se desenvolveu, nos arredores dos rios, lagos e fontes. Essa convivência desde os tempos remotos com a água permitiu a humanidade a conhecê-la e a tirar proveito de suas propriedades em todos os sentidos.

É interessante pensarmos as inúmeras possibilidades de aplicação desta disciplina e assim teremos melhores condições de refletirmos sobre o grau de sua importância para a nossa vida. Não só porque seu conhecimento nos proporcionou grandes facilidades, muito embora seja indiscutível que seu conhecimento nos trouxe isto, mas porque suas aplicações influenciaram a nossa vida em grupo de tal maneira a permitir a criação das sociedades tais como conhecemos hoje. Tente imaginar a humanidade do século XXI convivendo sem a formação das sociedades modernas tal como conhecemos hoje. Tente imaginar indivíduos que vivem em cidades onde não exista energia elétrica, ou sem sistema de distribuição de água e escoamento do esgoto, uma organização social, onde seus carros não possuem direção hidráulica. Aliás, sem carros, sem guindastes sem os mais básicos instrumentos hidráulicos que permitem à vida como conhecemos atualmente. Basicamente seria assim a vida se não conhecêssemos os princípios da hidráulica.

O que queremos enfatizar é que o estudo da hidráulica acompanhou e se desenvolveu, à medida que, as cidades foram surgindo e se desenvolvendo. Sabemos que a primeira preocupação de qualquer assentamento humano é se localizar nas proximidades dos mananciais d'água; entretanto na medida em que povoados transformavam-se em cidades, também as reservas d'água tornavam-se, insuficientes e expostas à contaminação e poluição. Com a criação das cidades houve a necessidade de se construir redes de armazenamento de água, chamados de açudes, também era necessária a construção de um sistema capaz de fazer a distribuição da água, tais

sistemas eram conhecidos como aquedutos, que possuíam a única finalidade de fazer com que a água viesse até os moradores. Também era necessário pensar na comida, com um número tão grande de pessoas passava a conviver no mesmo lugar era extremamente importante a construção de um bom sistema de irrigação para as lavouras e assim garantir a subsistência da coletividade.

Acredito que esta tenha sido a primeira contribuição da hidráulica para facilitar a vida das pessoas e despertar o desejo de estudá-la, com a finalidade de se conhecer todas as suas aplicações. Já não era mais necessário viver próximo a um rio, pois estas redes tinham a capacidade de armazenar e trazer a água de quilômetros de distância, tal facilidade permitiu ao homem a ficar menos suscetível às variações do tempo, e pela primeira vez a humanidade pode produzir e armazenar alimentos.

Primeiramente era necessário trazer água para matar a sede, depois para irrigar o solo, posteriormente o homem descobriu que poderia utilizar a força da água para fazer um moinho funcionar e então podíamos triturar o milho, o trigo, erguer cargas pesadas com a força da água e assim movimentar os mais diversos objetos tais como as turbinas que geram energia elétrica; ou seja, as sociedades foram se desenvolvendo e descobrindo outros meios de se utilizar a energia da água.

3.2 – Aquedutos

Quando falamos em aplicações da Hidrostática e da Hidrodinâmica, instintivamente pensamos na primeira possível aplicação que está diretamente relacionado à sobrevivência do ser humano, que é necessidade de beber água. Portanto a primeira coisa que nos vem à cabeça é a formação de aquedutos. Sabe-se que sem água é impossível a sobrevivência de um povoado ou de uma cidade etc. E muitas vezes o melhor lugar para a vivência de um povoado, ocorria em uma região onde o rio mais próximo estava a quilômetros de distância, sendo, portanto extremamente conveniente a construção de um sistema que viabilizasse o transporte da água até um ponto próximo onde a população poderia ser abastecida bem como os castelos e os palácios dos imperadores.

Os aquedutos mais antigos eram instalações que transportavam a água para as cidades por meio de estruturas montadas em arcos feitos de alvenaria. Neste tipo de aqueduto, a água era transportada geralmente com superfície destampada, apresentando

sempre uma ligeira inclinação para que a água pudesse correr por meio da atração gravitacional. Assim, já não era necessário percorrer quilômetros em busca de água, e a civilização poderia se desenvolver em torno das fontes que desembocavam na região. Na antiguidade todas as grandes civilizações possuíam aquedutos. Nos aquedutos modernos o escoamento da água é feito sob pressão com o auxílio de tubos metálicos para o transporte dela até as cidades.

A figura 3.1 [19] mostra um antigo o Aqueduto dos Pegões, situado sobre o vale da Ribeira dos Pegões em Portugal, construído no final do século XVI, com a finalidade de abastecer de água o convento de Cristo em Tomar, e tem cerca 6 km de extensão.



Fig. 3.1. Aqueduto dos Pegões. [18]

3.3 – Energia Hidráulica

A energia hidráulica resulta da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, a primeira provoca a evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre, é a energia existente na água e que em determinadas condições de vazão e altura de queda, pode ser usada para movimentar máquinas. Aliás, é desta forma que se consegue extrair energia elétrica a água precipitada escoa pelos morros e montanhas formando pequenos riachos, em lugares onde vários destes pequenos riachos se encontram formam-se os rios. Os rios, por causa da atração gravitacional, se movimentam indo em direção aos mares que são os pontos mais

baixos. Em determinadas regiões entre a nascente do e o mar, pode ser que existam regiões com excelentes condições de desnível e, onde o volume de água seja muito grande, há possibilidade de se criar uma represa a fim de captar água para criar uma usina hidrelétrica. A energia potencial da água faz girar grandes turbinas que tem o papel de transformar a energia mecânica em energia elétrica. Esta eletricidade é conduzida a redes de distribuição por meio de fios até chegarem nas residências, movimentando os mais diversos tipos de objetos e equipamento que facilitam o dia-a-dia de todas as pessoas.

Assim, a energia hidráulica é convertida em energia mecânica. Ao contrário das demais fontes renováveis representam uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias de aproveitamento devidamente consolidadas. Atualmente, é a principal fonte geradora de energia elétrica para diversos países e responde com cerca de 17% de toda a eletricidade gerada no mundo [19]. Este modo de se utilizar a energia da água é uma forma mais moderna de obtenção de energia ao longo deste trabalho achamos conveniente salientarmos a evolução do modo de se utilizar este tipo de energia.

3.4 – Primeiras Máquinas Hidráulicas

Com o rápido crescimento da população, o homem foi descobrindo novas formas manejo e novos materiais que tinham o propósito de utilizar da energia da água para fins maiores do que o próprio consumo. Uma vez que o problema de se captar água já tinha sido resolvido, agora a exigência era de como utilizar a água para facilitar seu cotidiano.

Moer, socar ou triturar grãos é uma atividade bastante desgastante que consome tempo e energia, à medida que o homem foi convivendo com as fontes de água criou instrumento que possibilitavam a conversão da energia hidráulica em mecânica. O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos. As primeiras máquinas hidráulicas construídas foram: o monjolo, o carneiro hidráulico, e a roda d'água.

3.5 – Monjolo

O monjolo é a máquina hidráulica mais simples de construir, pois pode ser feito com tronco de madeira e talvez tenha sido a primeira máquina a ser utilizada. Ele é colocado num local onde exista altura de queda suficiente para instalar uma calha, cuja função é captar, desviando parte do fluxo de água para dentro de uma caçamba que funciona como um reservatório. Na medida em que este reservatório é preenchido, o peso da água vence o peso do tronco fazendo levantar a outra extremidade. Neste momento, parte da água é jogada fora e como o peso da água restante no reservatório é menor do que o peso do tronco, o mesmo retorna a posição inicial com força suficiente para moagem dos grãos que estarão dentro de um pilão.

Existe uma relação que descreve a eficiência deste equipamento comparado ao pilão comum. Basta analisar a energia potencial entre estes dois equipamentos. Só para fazermos uma ínfima comparação vamos supor que um pilão comum, possui uma massa de 5 Kg, e que é abandonado de uma altura de 0,5 m de altura numa região onde a gravidade vale 10 m/s^2 . Já para o monjolo vamos considerar que sua massa efetiva valha 60 kg e que ele caia de uma altura de 1,5 m numa região onde $g = 10 \text{ m/s}^2$. De posse destes dados podemos calcular a energia potencial de cada um.

Então para o pilão teremos:

$$E_p = mgh = 5 \cdot 10 \cdot 0,5 = 25\text{J} \quad (112)$$

Já para o monjolo teremos:

$$E_m = 60 \cdot 10 \cdot 1,5 = 900\text{J} \quad (113)$$

Como desejamos comparar um equipamento com o outro devemos calcular a razão entre a energia do monjolo e a energia do pilão.

$$E_m/E_p = 900/25 = 36 \quad (114)$$

Ou seja, para este caso, o monjolo consegue ser 36 vezes mais eficiente do que o pilão comum.

Na figura 3.2, temos um exemplo de um monjolo antigo da época da colonização brasileira, feito de maçaranduba. Era utilizado para socar café, milho, trigo e outros.



Fig. 3.2. Foto de um Monjolo feito de maçaranduba [20]

3.6 – Carneiro Hidráulico

O carneiro hidráulico é uma máquina de baixo custo, usada para bombear pequena quantidade de água para um reservatório tal como uma caixa d'água. Um dos melhores exemplos do uso dos conceitos da Hidrodinâmica para a melhoria da qualidade de vida porque apresenta facilidade de uso e tem pouca manutenção. Suas peças são de simples aquisição, pois possuem baixo valor comercial. Para funcionar não há necessidade de energia elétrica ou qualquer combustível, pois é capaz de aproveitar o efeito do “Golpe de Aríete” para bombear a água. Golpe de Aríete é o nome que se dá ao surto de pressão provocado quando se interrompe abruptamente o fluxo de um fluido que escoar por um tubo.

Um carneiro hidráulico é constituído, basicamente, por cinco partes:

1ª tubo de alimentação – conduz a água de uma fonte até o aparelho.

2ª válvula de impulso – faz o bloqueio periódico do fluxo de água gerando o efeito “golpe de aríete” e bombeando a água.

3ª válvula de recalque – impede que a água retorne para o tubo onde recebeu o impulso.

4ª câmara de ar – armazena a pressão e a água conduzindo-a para o tubo de recalque.

5ª tubo de recalque – conduz a água bombeada para o reservatório da casa.

Neste tipo de máquina as únicas peças que podem sofrer desgaste com o tempo são: a válvula de impulso e de recalque devendo ser trocadas periodicamente. Como dito ele é capaz de aproveitar o efeito que decorre da interrupção rápida do movimento da água, em uma dada direção. Com esta interrupção, ocorre um aumento da pressão dentro da máquina sendo suficiente para abrir a válvula de recalque, pela qual parte da água é transportada por uma mangueira até um reservatório localizado acima do carneiro hidráulico.

A figura 3.3 abaixo ilustra uma situação onde é utilizado com sucesso um carneiro hidráulico. Observe que o sistema bombeia a água a uma altura superior a altura da fonte consumindo, para isso, a energia do movimento da água.

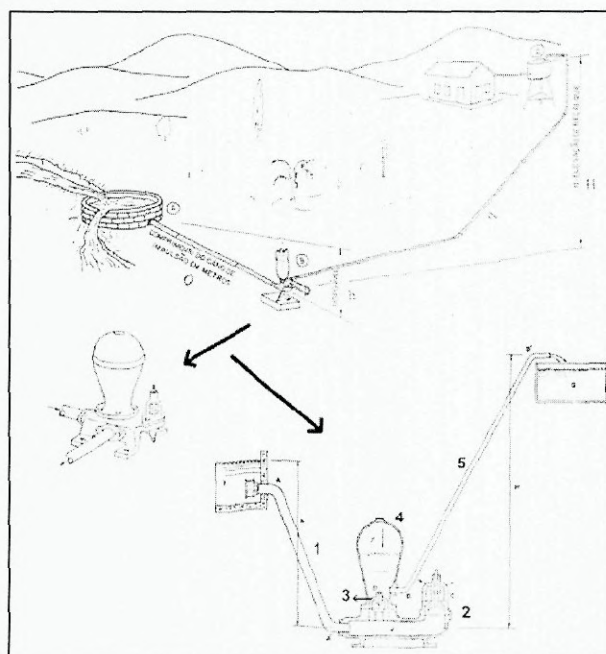


Fig. 3.3. Ilustração extraída do livro: Carneiro hidráulico: O que é e como construí-lo. Editora: CERPCH – 2002 [21]

A vazão de água recalçada pode ser calculada pela expressão:

$$q = Q(h/H)R \quad (115)$$

Onde:

q é a vazão recalçada.

Q é a vazão disponível.

h é altura do tubo de alimentação.

H é a altura do tubo de recalque.

R é o coeficiente de aproveitamento.

Existe uma relação entre o coeficiente de aproveitamento e as alturas do tubo de alimentação e a altura do tubo de recalque. A figura 3.4 mostra como ocorre dependência deste coeficiente em relação à razão entre as alturas.

Proporção	Aproveitamento
(h/H)	R
1/2	0.60
1/3	0.55
1/4	0.50
1/5	0.45
1/6	0.40
1/7	0.35
1/8	0.30

Fig. 3.4. Tabela extraída do livro: Carneiro hidráulico: O que é e como construí-lo. Editora: CERPCH – 2002

Suponha uma situação onde:

$Q = 1800$ litros/hora

$h = 2$ m

$H = 10$ m

Como $h/H = 1/5$, então $R = 0,45$

Assim:

$q = 1800(1/5)0,45 = 162$ litros por hora.

3.7 – Roda d' água

O uso das rodas d'água é muito antigo. Data-se que em 2.000 a.C, no Egito, já era utilizada para bombeamento. A princípio tinha a estrutura feita de madeira rústica e baldes presos a essa estrutura formando as caçambas. Com o avanço da tecnologia essa estrutura foi aperfeiçoada até chegar aos modelos atuais.

O funcionamento se dá por causa de um desvio do fluxo de água local que é levado até a roda. Para fazer esse desvio pode-se usar tubo de PVC, chapas de aço

galvanizado, calha de madeira ou alvenaria com altura de 10 a 20 cm do topo da roda para que a água ao cair sobre as pás possibilite seu giro.

A velocidade de rotação é muito baixa, isto é, de 1 a 40 giros por minuto, mas mesmo assim pode ser utilizadas para movimentar moinhos, serrarias; gerar eletricidade (100 a 3000 Watts) e bombear água a um reservatório.



Fig. 3.5. Foto de uma roda d'água. [22]

3.8 – Elevador Hidráulico

Assim, entendemos que a primeira e a principal descoberta que a humanidade fez no que diz respeito das aplicações da hidrostática é a vantagem mecânica que ela nos proporciona. Pois como já vimos no capítulo II um sistema hidrostático se comporta de tal modo a distribuir de maneira uniforme toda a pressão que é transferida a ele este teorema é conhecido como teorema de Pascal. Este teorema justifica o fato de como podemos erguer objetos pesados fazendo um pequeno esforço, tal dispositivo é conhecido como Elevador Hidráulico. A figura 3.6 abaixo mostra a montagem de um esquema que revela, de modo simplificado, o interior de um elevador hidráulico, um modelo similar, porém mais sofisticado é utilizado para erguer carros em oficinas mecânicas.

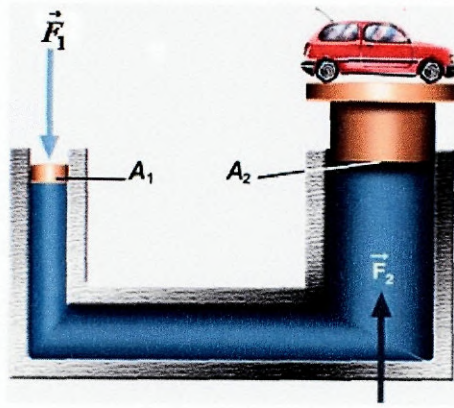


Fig. 3.6. Ilustração de um elevador hidráulico utilizado em oficinas para erguer carros. [23]

Segundo o teorema de Pascal temos:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (116)$$

Portanto a força em um dos lados pode ser escrito como:

$$F_2 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right) F_1 \quad (117)$$

Como $A_1 \ll A_2$ e ambos > 0 podemos chamar o coeficiente $\frac{A_2}{A_1} = C$. Então

$$F_2 = C F_1 \quad (118)$$

O coeficiente C mostra como ocorre a multiplicação da força do sistema, ou como se dá a vantagem mecânica. Se a área 1 for muito grande em relação à área 2 o valor de C será muito grande, porém, caso a razão entre as áreas resultar um valor muito pequeno, o valor de C também será pequeno.

Outra explicação se dá porque esta lei é uma consequência da lei de Steven que para o mesmo nível em um mesmo fluido teremos mesma pressão. Ao colocarmos um veículo em A_2 produzimos um aumento da pressão naquele ponto. Portanto a força em A_1 deve ser exercida de tal modo que a pressão no ponto 1 se iguale a pressão no ponto 2, desta maneira teremos um equilíbrio entre estes pontos. Assim se produzimos uma

pressão no ponto 1 maior do que a pressão no ponto 2 observaremos que o carro será erguido. Tal aumento de pressão pode ser dado tanto pelo aumento da força exercida sobre a área A_1 como também o aumento da pressão ocorrerá se diminuirmos o valor desta área como observado no início deste capítulo.

3.9 – Outras Máquinas Hidráulicas

Da Prensa Hidráulica ao Freio Hidráulico

A prensa hidráulica, instrumento que foi criado utilizando o princípio do teorema de Pascal para multiplicar a força na parte onde se deseja prensar um objeto. Ela foi usada na fabricação da primeira impressora que se tem notícia, as letras eram colocadas formando as palavras e frases que se desejava imprimir, depois essa matriz era colocada sobre uma folha em branco onde era pressionada. Este processo era repetido para tantos exemplares se quisesse imprimir.

Atualmente a utilização da prensa hidráulica possui várias aplicações principalmente na indústria porque uma prensa deste tipo é capaz de produzir uma pressão acima de duas mil toneladas, portanto ela consegue dar forma a um metal a frio. Outra aplicação é na fabricação de tijolos, telhas. Uma mistura de uma terra argilosa com cimento é colocada no interior da máquina que pressiona a mistura até se obter uma massa compacta e no formato conhecido com a vantagem de que se pode produzir em massa sem a necessidade de fornos o que prejudica o meio ambiente. A figura 3.7 exibe um modelo de prensa hidráulica pequena.



Fig. 3.7. Ilustra um tipo de prensa hidráulica usada para prensar madeira. [24]

À medida que o tempo foi passando, foram surgindo outras situações onde era necessária a utilização de instrumentos que pudessem fazer uma quantidade de força que um homem comum jamais poderia exercer. Assim os equipamentos hidráulicos foram sendo adaptados com essa finalidade abrindo um grande leque de aplicações. Uma das mais conhecidas aplicações é a utilização de um equipamento conhecido como tesoura hidráulica. Tal dispositivo nada mais é do que uma adaptação da já conhecida prensa hidráulica acoplada a uma tesoura grande. Com este dispositivo é possível em questão de minutos, recortar superfícies de ferro de aço, etc.

Podemos observar esse tipo de equipamento sendo utilizado pelo corpo de bombeiros para o salvamento de vítimas que ficam presas nos seus veículos em acidentes de trânsito. A figura 3.8 é um exemplo da utilização deste equipamento no resgate de vítimas de acidente de trânsito, nela podemos presenciar a ação de profissionais do corpo de bombeiros recortando o teto de um automóvel batido.



Fig. 3.8. Foto de bombeiros cortando o capô de um carro com o auxílio de uma tesoura hidráulica [25]

Desde os cortadores até grandes guindastes geralmente utilizados na construção civil, as máquinas hidráulicas são abundantemente utilizadas, pois, satisfazem tudo o que delas é exigido no que diz respeito à força e agilidade. A força está relacionada à vantagem mecânica que já fora analisada no tópico anterior. A agilidade está diretamente relacionada com a possibilidade que se tem de mudar a finalidade do equipamento apenas mudando-se a estrutura da ferramenta, ou ponto onde se aplica a força, ou mudando-se a estrutura sobre a qual desejamos efetuar o serviço. Por exemplo, se quisermos cortar acoplamos ao braço do equipamento uma tesoura, por outro lado, se queremos segurar acoplamos ao mesmo braço um alicate. Ainda se quisermos suspender um objeto pesado basta mudar o formato do equipamento,

contudo, para todos os casos o princípio físico é o mesmo, ou uma variação da prensa hidráulica.

Esse princípio pode ser observado em diversos equipamentos tais como: em retro-escavadeiras carregadeiras, empilhadeiras, guindastes, caminhões basculantes, carros de lixo, sistemas de controle de avião são operados hidráulicamente. A figura 3.9 mostra três máquinas construídas para realizarem trabalhos pesados e cuja base de funcionamento das três é o princípio de Pascal.



Fig. 3.9. Foto de algumas máquinas hidráulica: um guindaste, um trato e uma escavadeira.

[26]

Outra aplicação interessante que encontramos é a utilização deste princípio na indústria automobilística para promover maior segurança aos motoristas através do freio hidráulico. Este tipo de freio é simplesmente uma prensa hidráulica ligada por um tubo flexível. Numa extremidade está o pistão mais fino, porém maior em comprimento, do outro lado encontra-se um pistão mais grosso, porém, seu comprimento é mais curto. Com a escolha conveniente das áreas consegue-se multiplicar consideravelmente a força que é produzida de um lado como visto anteriormente. Assim numa situação onde o condutor deseje diminuir sua velocidade, basta apertar uma extremidade do tubo para que esta pressão seja distribuída ao longo do tubo e assim possa contrair a pinça que está na outra extremidade do tubo. A pinça contraída aperta o disco de freio que está ligado à roda impedindo assim, a continuidade de seu movimento. A figura 3.10 é uma foto que mostra um sistema de feio hidráulico que é utilizado em bicicletas.

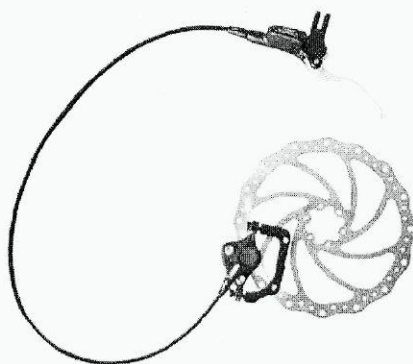


Fig. 3.10. A figura acima representa um sistema de freio hidráulico que está sendo adaptado para funcionar em bicicletas. [27]

3. 10 – Flutuação de Corpos

Na física conhecemos que se quisermos movimentar que está em repouso ou parar um corpo que está em movimento retilíneo e uniforme dentro de determinado sistema de referências é necessário provocar em tal objeto um desequilíbrio em seu sistema de forças. Ou seja, é necessário fazer com que o somatório das forças que atuam nele seja diferente de zero, isso produzirá movimento em um corpo que se encontra em repouso e poderá diminuir ou aumentar o movimento em um corpo que está em movimento uniforme. A partir daí, extraímos que ao manipularmos o sistema de forças sobre um corpo é o mesmo que manipular seu movimento, porque seu movimento é depende diretamente das forças envolvidas neste sistema.

Fazer um corpo flutuar, portanto, nada mais é do que trabalhar o sistema de forças que atuam sobre o objeto. Num meio fluido (água ou ar) as principais forças que determinam a flutuação são o **Peso e o Empuxo**. Como já vimos Peso é à força de atração que o planeta exerce sobre um corpo que se encontra nas proximidades de sua superfície. Já o Empuxo é a força que o fluido exerce sobre um objeto colocado no interior dele, nesta situação é sabido que a força de empuxo é vertical e para cima enquanto o peso é vertical para baixo. Também, foi esclarecido no capítulo II, que a força de empuxo é depende: da densidade do fluido, do volume deslocado pelo objeto e da atração gravitacional. Enquanto o peso depende da densidade do objeto, do seu volume e da atração gravitacional. Ou seja:

$$E = \rho_{\text{fluido}} V_{\text{(deslocado)}} g \quad (119)$$

$$P = \rho_{(objeto)} V_{(objeto)} g \quad (120)$$

Ou seja, a força que atua sobre um objeto é igual:

$$N = P - E \quad (121)$$

Numa situação onde $N = 0$ o objeto perde o contato com o solo, neste caso:

$$E = P \quad (122)$$

$$\rho_{(fluido)} V_{(deslocado)} g = \rho_{(objeto)} V_{(objeto)} g \quad (123)$$

Dividindo-se ambos os membros pelo valor da gravidade temos:

$$\rho_{(fluido)} V_{(deslocado)} = \rho_{(objeto)} V_{(objeto)} \quad (124)$$

Para o caso de corpos totalmente imersos no fluido temos que:

$$V_{(deslocado)} = V_{(objeto)} \quad (125)$$

Assim, dividindo-se (124) pelo volume temos:

$$\rho_{(fluido)} = \rho_{(objeto)} \quad (126)$$

Portanto, a relação entre o Empuxo e o Peso está diretamente relacionada à relação entre as densidades do fluido e do objeto. Então:

Se $\rho_{(fluido)} > \rho_{(objeto)}$, então $E > P$. Neste caso, o objeto subirá.

Se $\rho_{(fluido)} = \rho_{(objeto)}$, então $E = P$. Neste caso, o objeto flutuará.

Se $\rho_{(fluido)} < \rho_{(objeto)}$, então $E < P$. Neste caso, o objeto descera.

Numa situação onde o volume deslocado pelo fluido é igual ao volume do objeto, teremos condições de fazê-lo flutuar caso tivermos condições de fazer sua densidade ficar menor do que a densidade do fluido que o envolve. Nesta condição a força de empuxo sobre o objeto seria maior do que a força peso sobre ele proporcionando assim um movimento ascendente. A partir de então quando se quisesse estabilizar o objeto em uma determinada altura, bastaria fazer com que sua densidade se igualasse à densidade do meio onde se encontra. Desta forma a força de empuxo se igualaria à força peso proporcionando a ele uma estabilidade na direção vertical, ou seja, ele ficaria flutuando numa determinada altura acima do solo podendo se deslocar horizontalmente. E se quiséssemos iniciar um movimento descendente bastaria fazer sua densidade ficar maior do que a densidade do fluido que o envolve.

Os gases mais do que qualquer substância, possuem a característica de alterar grandemente o valor de sua densidade em função da temperatura. Em um balão de ar quente convencional podemos manipular a densidade do conjunto, pois, ao inserirmos ar quente no interior de sua câmara o ar aquecido possui uma densidade inferior à do ar frio. Essa diferença de densidade produz sobre o ele uma força ascendente fazendo-o flutuar. No balão o centro de empuxo (**CE**) está localizado aproximadamente no centro da cápsula dele. Ou seja, no centro da porção de fluido deslocada enquanto o centro de massa (**CM**) está localizado, aproximadamente, no centro do cesto onde se leva a carga, garantindo a sua estabilidade, pois o CE se localiza bem acima do CM.

Geral mente a questão da estabilidade não é comumente abordada quando se fala sobre vôo em balões, imagino que nem tenha sido uma preocupação na época em que começo-se a produzi-lo em grandes números porque naturalmente o CE se localiza acima do CM de modo que isso proporciona o vôo estável.

A figura 3.11 mostra uma foto de um Zepelim, uma espécie de balão preenchido com gás hélio, este tipo de embarcação se difere do balão de ar quente convencional porque a manipulação da densidade do conjunto se dá pela quantidade de gás Hélio inserido na cápsula acima dele, nesta situação, o empuxo sobre ele é igual ao seu peso.

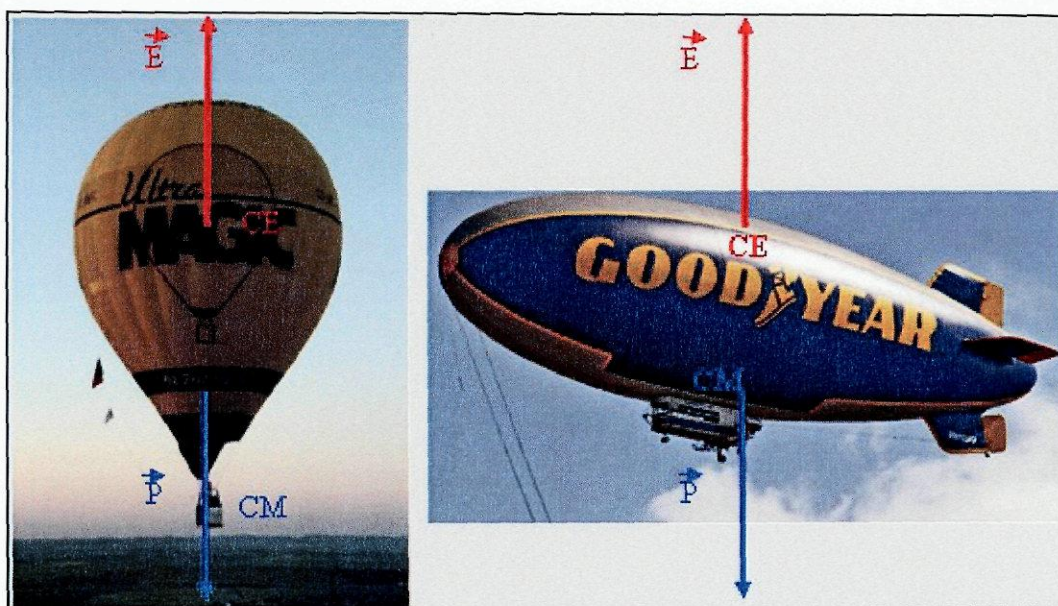


Fig. 3.11. Foto de dois veículos flutuantes que sobem por causa da força de empuxo resultante da diferença de densidade entre o objeto e o ar. [28]

O mesmo ocorre em uma embarcação, o casco do navio possui um formato em “V” ou em “U”. Assim, o volume de água deslocado é suficientemente grande para produzir uma força de empuxo que é igual ao peso do navio e desta forma sustentá-lo sobre a superfície da água.

Também é importante frisarmos que para este tipo de equipamento a relação entre o CE e o CM é de fundamental importância para a navegabilidade do navio porque não basta simplesmente que a força de empuxo seja igual ao peso. Do que adiantaria um barco sobre a superfície da água, porém de cabeça para baixo? É necessário também que a estabilidade do conjunto seja garantida através de uma relação entre estas forças. Porque quando nos referimos a corpos rígidos as forças exercidas sobre ele são fixas e suas posições são constantes. Mas em embarcações como navios de cruzeiro o centro de empuxo (**CE**) varia de posição enquanto o barco se movimentar, já o seu centro de massa (**CM**), sem tripulantes, fica localizado em uma posição diferente de quando o barco está repleto de passageiros. Portanto é essencial que um navio, ao ser projetado, deve ser feito de modo que o CE se localize sempre acima do CM do navio a fim de que essa diferença produza uma força restauradora quando for deslocada do seu ponto de equilíbrio. Na figura 3.12 temos a ilustração desse fato. Em a) o barco se encontra em equilíbrio, já em b) o barco é retirado de seu ponto de equilíbrio, observe que neste caso a força de empuxo e a força peso se opõem entre si, produzindo um torque restaurador.

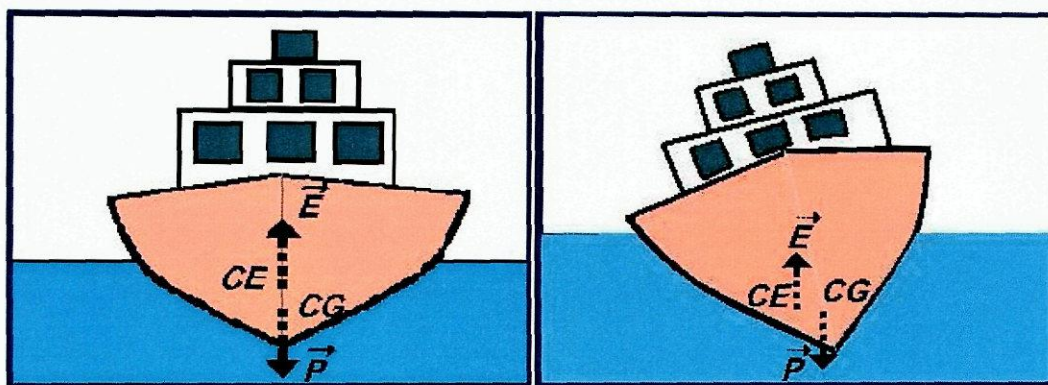


Fig. 3.12. Ilustração de um navio que flutua por causa da força de empuxo. [29]

No submarino também existe uma relação entre o empuxo eo peso, o que ocorre é que manipulamos esta relação aumentando ou diminuindo a quantidade de massa dele e conseqüentemente, o seu peso. Nele existe um compartimento chamado tanque de lastro, este compartimento inicialmente está cheio de ar, neste caso o submarino flutua sobre a superfície da água. Quando se deseja submergi-lo uma bomba joga água em seu interior, comprimindo o ar contido lá. Desta forma o peso do submarino aumenta ficando maior do que o empuxo fazendo ele desce. Quando se atinge a profundidade desejada, abrem-se as comportas então o ar comprimido com o auxílio da bomba joga um pouco da água fora equilibrando com a força de empuxo que atua sobre ele com o seu peso. E quando se deseja emergir basta jogar um pouco mais de água fora até que a força de empuxo seja maior do que a força peso. Existem outros detalhes que ajudam o submarino em suas manobras que são umas pequenas asas estabilizadoras que ele possui uma na parte de traz e outra praticamente sobre seu centro de massa, elas aproveitam a força de resistência que a água exerce no submarino (que é contrária ao seu movimento) para acelerar o processo quando necessário for.

Assim, entendemos que no submarino a manipulação da densidade do conjunto se dá por meio da manipulação da força peso aumentando-se ou diminuindo conforme a necessidade. A figura 3.13 é uma ilustração do que acontece num submarino.

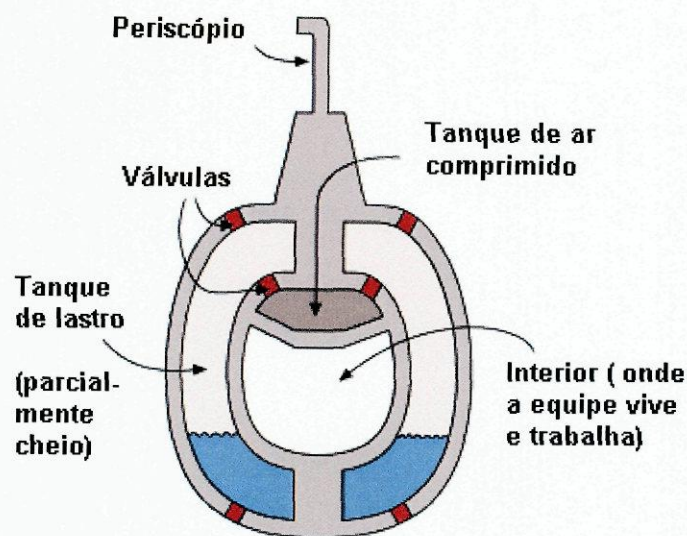


Fig.3.13. Ilustração de esquema que mostra o funcionamento de um submarino. [30]

3. 11 – Tubo de Pitot (velocidade do avião em relação ao ar)

O tubo de Pitot, pode-se dizer que é um dos mais notáveis instrumentos baseado nos princípios da Hidrodinâmica. Ele possui este nome em homenagem ao seu criador o engenheiro francês Henri Pitot (1695 – 1771). Este instrumento permite a medição da velocidade de escoamento de um fluido baseado na diferença de pressão entre suas extremidades. Ele possui um formato curvo em forma de duas camadas sendo que em uma o ar entra paralelamente ao deslocamento do fluido e na outra parte o tubo existe um orifício perpendicular ao escoamento do fluido, além disso, em seu interior ele possui um fluido cuja densidade é maior do que a densidade do fluido estudado.

A parte do tubo que está perpendicular ao deslocamento do fluido permanece deste modo a fim de não se alterar significativamente sua velocidade daquela região, ou seja, para não perturbar o escoamento do fluido. A outra extremidade do tubo que é encurvada de tal modo a ficar paralelo ao escoamento permitindo a entrada do ar, deste modo o fluido é freado nesta região, tal ponto é chamado de ponto de estagnação. Nele a energia de movimento do fluido se transforma em pressão Hidrodinâmica.

Portanto, ao adaptarmos um tubo de Pitot em um tubo onde exista um líquido que se movimenta com velocidade v , observa-se que o fluido do interior do tubo de Pitot sofre um desnível (h) tal desnível é proporcional a velocidade de escoamento do fluido, onde se deseja determinar o valor da velocidade de escoamento do fluido ou, no

caso do avião, o tubo mede a velocidade dele em relação ao ar. Temos na figura 3.14 uma ilustração do tubo de Pitot utilizado em aviões, vale lembrar que neste tipo de tubo é necessário que haja um sistema de aquecimento para que não se formem gotículas de gelo nos orifícios por onde o ar circula, e assim o tubo poderá funcionar normalmente.

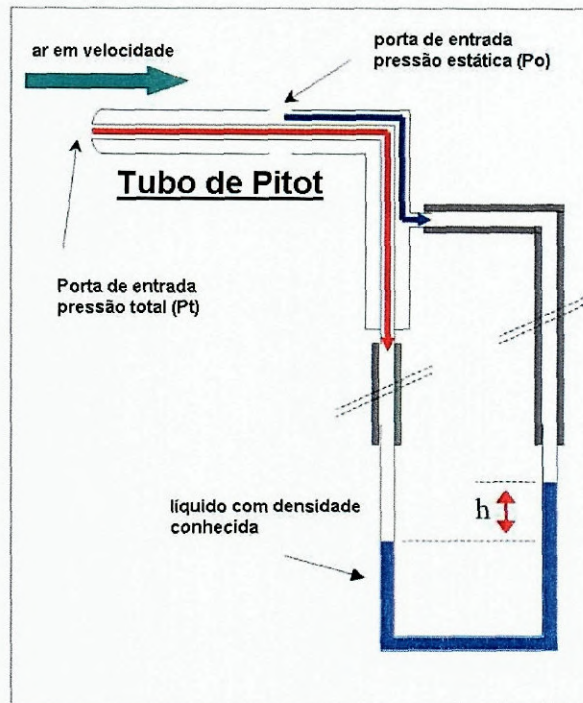


Fig. 3.14. Mostra o tubo de Pitot acoplado a um encanamento por onde escoar um fluido com densidade ρ_0 observe que no interior do tubo há outro fluido cuja densidade vale ρ_1 , sendo ρ_1 maior do que ρ_0 . A diferença de pressão produz um desnível H . [31]

Já vimos do capítulo 2 que a velocidade de escoamento do fluido pelo tubo de Pitot pode ser calculada pela fórmula:

$$v_b = \sqrt{2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right) g h} \quad (127)$$

Existem outras aplicações para o tubo de Pitot, dentre elas estão:

- determinação da velocidade no acondicionamento de ar;
- determinação da curva de um ventilador;
- determinação da velocidade em transporte pneumático;
- determinação da velocidade em fluxo de gás combustível;

- determinação da velocidade em sistemas de gás de processamento;
- determinação de velocidade de aviões;
- determinação de vazamento em redes de distribuição (pitometria);
- obtenção da resistência ao fluxo originada por filtros, condensadores. [32]

3.12 – Sustentação de Aviões

Explicar a sustentação de aviões é uma tarefa muito complicada, mas podemos dizer que ela possui relação direta com a velocidade relativa entre o objeto e o fluido e que também ela está diretamente ligada ao formato deste objeto em relação ao fluido e ao ângulo de ataque com que tal objeto se movimenta nele. Contudo, podemos afirmar que sobre um avião existem, basicamente, quatro forças atuantes: peso, arrasto, empuxo e sustentação.

A força peso (C), como sabemos, é a força com que a Terra atrai o avião. A força de arrasto (D) é a força de resistência ao movimento que o fluido exerce sobre o avião. Já a força de empuxo (B) é a força que as hélices produzem para dar movimento ao avião. A figura 3.15 é uma ilustração de um monomotor sujeito a estas quatro forças.

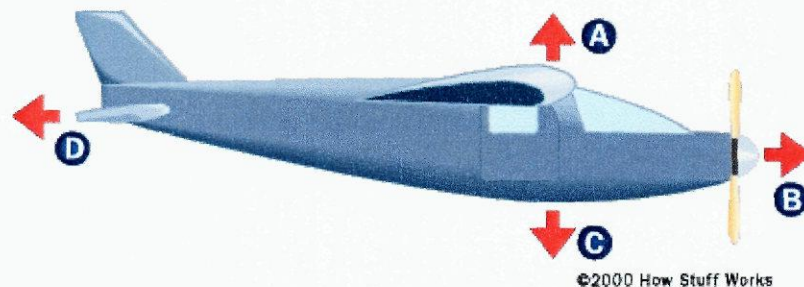


Fig. 3.15. Ilustração das forças aerodinâmicas atuando sobre o avião. [33]

Com este movimento e devido ao formato das asas há uma diferença de pressão entre a parte superior e a parte inferior do avião. Esta diferença de pressão é gerada pela diferença do valor da velocidade do ar em todos os pontos ao redor da asa. Essas variações de pressão são causadas pela interrupção e pelo desvio do fluxo de ar que passa pela asa. Tal diferença de pressão sobre a asa do avião faz surgir uma força ascendente (A) sobre ele de acordo com a equação (6).

4 – EXPERIMENTOS

4.1 – Introdução

A física como já vimos no decorrer deste trabalho, possui extrema importância na sociedade porque seu conhecimento proporcionou-nos melhoria na qualidade de vida, melhoria nos meios de comunicação, melhoria na nossa maneira de observar o mundo, pois, é inconcebível a idéia de que uma pessoa depois de ter contato com a física, aprendendo a observar a natureza sob outras perspectivas, e interagindo de modo a prever determinados acontecimentos, permaneça sem que o seu olhar seja transformado. Portanto o ensino de física deveria proporcionar aos alunos a visão de toda magnificência sendo, principalmente, originado de um ato lúdico, que despertasse a curiosidade dos alunos em desvendar seus mistérios, analisar a multiplicidade das suas aplicações e que ampliasse o modo que tinham de observar as coisas.

Sendo assim, seria extremamente difícil a conciliação dessa idéia de promover uma metamorfose visionária do aluno, caso o modo de exibição da física não evolua continuamente e se adapte a cada perfil dos alunos encontrado durante este processo. Portanto, a apresentação de fenômenos físicos se faz crucial para propiciar ao professor o ponto de partida, fundamental para a construção deste processo. E nisto me refiro a qualquer nível de aprendizado, seja para o ensino fundamental até o ensino superior, porquanto os alunos tendo a orientação do professor passam a verificar determinados aspectos do nunca observados anteriormente, mesmo que o experimento seja abandonar o objeto a uma determinada altura.

Agora quando tal exposição é feita para alunos do ensino fundamental a observância desta espécie de transformação fica muito mais evidente. Porque neste tipo de público, a zona de conforto é muito mais restrita do que para outros grupos, então o resultado para cada experimento é muito mais marcante, os questionamentos são muito mais acalorados do que para os outros grupos, sem contar que isso gera uma oportunidade muito grande de se explicar o fenômeno por vias semelhante àquilo proposto pelos PCN's, no que diz respeito à:

“Para tanto, é necessário que, no processo de ensino e aprendizagem, sejam exploradas: a aprendizagem de metodologias capazes de priorizar a construção de

estratégias de verificação e comprovação de hipóteses na construção do conhecimento, a construção de argumentação capaz de controlar os resultados desse processo, o desenvolvimento do espírito crítico capaz de favorecer a criatividade, a compreensão dos limites e alcances lógicos das explicações propostas.” [34]

4.2 – Objetivos da Atividade Experimental

No ensino tradicional predomina a proposta “conteudista”, a idéia de se fazer um experimento nada mais é do que um tópico dentro da multidão de conteúdos. Não se tem objetivos definidos ao se propor um experimento de física, nem algum tipo de estratégia específica para o aprendizado. Nem mesmo se utiliza como complemento da atividade teórica, ambos fazem parte do conteúdo a ser inserido. É sabido que este tipo de proposta há muito foi rejeitado pelas correntes pedagógicas mais modernas, principalmente, porque a idéia de educação evoluiu, à medida que as necessidades de novos instrumentos foram surgindo, e as necessidades sociais foram se diversificando, à medida que se observou que este tipo de modelo não correspondia mais, nem as expectativas (tanto do educando como do educador), nem às necessidades daquilo que se entende por proposta educativa. Porque neste modelo não se leva em consideração o relacionamento do aluno com o saber, sendo ele apenas um depósito de conhecimento.

Sabemos, contudo, que o aluno, ao absorver determinado conjunto de saberes, passa a produzir um comportamento distinto daquele percebido antes do primeiro contato com o objeto de estudo. Ou seja, há uma relação direta entre comportamento e aprendizado, portanto ao trabalharmos utilizando conteúdos experimentais, esperamos perceber esta interação sócio-cultural diferenciada da parte dele, esperamos que a interação entre o aluno e a atividade experimental funcione como uma ponte, ou uma via facilitadora da aprendizagem do processo do ensino de física e que esta aprendizagem venha a ser plenamente significativa e vivenciada pelo aluno. Os experimentos abaixo são inspirados no tema central deste trabalho com a finalidade básica de tornar o aprendizado da Hidrostática e da Hidrodinâmica mais lúdico.

4.3 – A Forma dos Líquidos

Vimos no início deste trabalho que a despeito do que é comumente ensinado no ensino fundamental, o fluido possui forma definida desde que não sofra influência do campo gravitacional. Contudo se faz dispensável entender que se realizando o experimento sobre a superfície da Terra, é indubitavelmente impossível não sofrer a influência de seu campo gravitacional. Portanto, o máximo que podemos fazer, uma vez que não podemos impedir este efeito sobre um corpo massivo; é talvez amenizar os efeitos que ela produz.

Uma das maneiras possíveis de se reproduzir este efeito é mudar o meio onde o fluido é colocado, no nosso caso, iremos colocar um pouco de óleo entre dois líquidos: água e álcool. Basta colocar em um copo de 300 ml, 150 ml de água com corante e vagarosamente, sobre a superfície da água, adiciona-se aproximadamente 100 ml de álcool. Com o auxílio de uma seringa, introduza o óleo diretamente no interior da mistura água mais álcool e observe que se forma uma espécie de gota cujos efeitos gravitacionais, pois, a mistura água mais álcool exerce uma força de empuxo sobre a massa de óleo que anula a força a atração gravitacional exerce sobre ela.

A figura 4.1 representa o experimento supracitado, observe que o formato da gota de óleo é esférico.

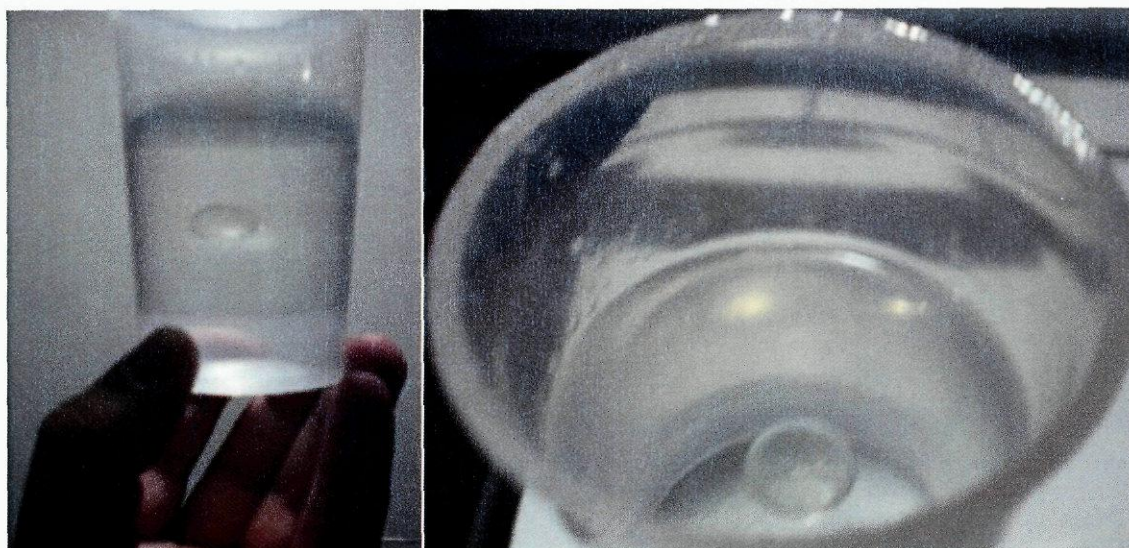


Fig. 4.1. Exibe imagens de uma gota de óleo colocada entre dois fluidos: água e álcool.

4.4 – Capilaridade

A capilaridade é o fenômeno resultante da diferença de forças existentes entre o líquido e as paredes do material que o contém. Chama-se força de coesão o tipo de força que surge entre as moléculas de água sendo essa força que possibilita a formação das gotas de água, ou seja, é o fenômeno que se observa quando se aproxima duas gotas do mesmo fluido. Essa é a propriedade que propicia a sua forma ser esférica, observação demonstrada com o experimento do tópico anterior. Já as forças de adesão são as forças que o fluido exerce sobre as paredes do recipiente que o contém, no caso é a interação entre as moléculas de água e as moléculas do vidro. O que ocorre é que se a força de adesão entre a água e o material for maior do que as forças de coesão entre as moléculas do fluido, o que podemos observar é que ela poderá subir pelas paredes dele.

Nesta parte iremos realizar um experimento para demonstrar esta propriedade utilizando a água e o vidro porque a água possui força de adesão em relação ao vidro muito maior do que a força de coesão entre as suas moléculas. Este efeito pode muito melhor ser visualizado quando as paredes do vidro estão muito próximas entre si. Tal fenômeno explica o fato de a seiva subir pelas árvores. A figura 4.2 é uma ilustração de um tubo capilar por onde um fluido pode subir pelas paredes deste tubo.

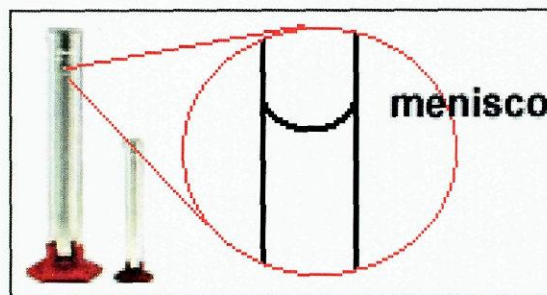


Fig. 4.2. Ilustração do fenômeno conhecido como capilaridade. [35]

4.5 – Tensões de Cisalhamento

Uma forma de compreendermos este conceito se dá por meio de um experimento simples de se fazer. Pegando-se um recipiente como uma bacia, por exemplo, cheia de água e colocando-se um pedaço de isopor sobre sua superfície

observa-se a flutuação deste sobre o fluido. Após isto, sopra-se suavemente sobre a superfície observa-se então que por menor que seja a força aplicada sobre o objeto este passa a entrar em movimento sobre o fluido. Ou seja, o fluido passa a permitir o movimento, pois entre as camadas que o constituem não existe atrito.

Outro modo de compreendermos isto é fazermos o experimento utilizando:

- Um suporte de metal.
- Um pedaço de madeira (10 cm).
- Um pedaço de linha (20 cm).
- Um pedaço de isopor (5 cm por 5 cm)
- Um pirex com água.

Basta amarrar uma ponta da linha na madeira e a outra na haste de metal que se encontra sobre a mesa de modo que o sistema pode oscilar livremente. Coloca-se, então, o isopor sobre a água e em seguida coloca-se a madeira. Com isso o peso da madeira é anulado pela tração no fio e pela reação à força normal do isopor sobre a madeira. Assim a madeira poderá movimentar-se livremente (figura 4.3) na direção horizontal caso exerçamos nela uma força, como entre as camadas do fluido não existem atrito a madeira passa a movimentar-se com um simples assopro.

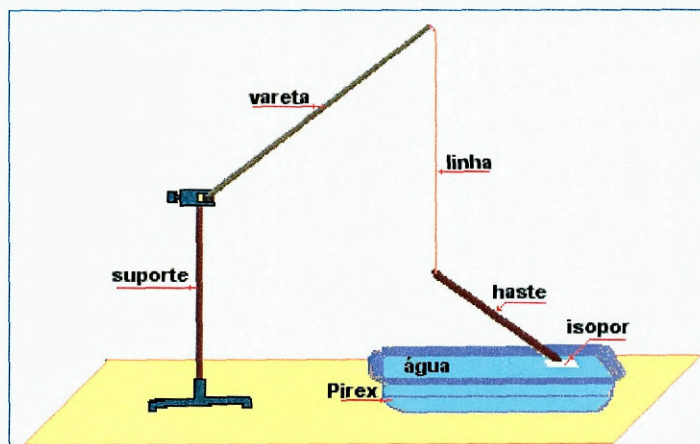


Fig. 4.3. Ilustra a situação onde um recipiente com um fluido e sobre ele um pedaço de isopor que pode deslizar livremente sobre a superfície da água, observe que a água só resiste às forças perpendiculares impedindo que o sistema afundasse, porém não oferece resistência às forças paralelas a superfície do fluido [36].

4.6 – Tensões Superficiais

A Tensão Superficial como vimos no capítulo II, é o tipo de fenômeno que ocorre nas superfícies de qualquer líquido originadas pelas forças de coesão entre suas moléculas. Portanto, faz-se necessário a realização de um experimento que mostre esta propriedade intrínseca dos fluidos.

Para este experimento iremos utilizar:

- Um pote transparente.
- Água, cerca de 1000 ml.
- Uma colher de chá de detergente.
- Um clipe metálico ou agulhas ou uma lâmina de barbear.
- Pedacos de papel higiênico.

Primeiramente, colocamos a água aproximadamente acima do meio do pote transparente. Em seguida, colocamos o clipe metálico sobre um pedaço de papel higiênico e depositamos o conjunto sobre a água. Observa-se que, ao absorver a água o papel começa a afundar, mas o clipe não. Consegue-se observar uma pequena película que sustenta o clipe ou a agulha sobre a superfície da água.

É também facilmente observável que se quisermos fazer com que a água não flutue, basta colocá-la verticalmente sobre a água. Mostrando, desta maneira que o modo como se arruma o sistema é imprescindível para que o experimento seja bem-sucedido.

A figura 4.4 é uma fotografia do experimento realizado, com ela podemos observar que a lâmina flutua sobre a superfície da água.

Assim que o experimento foi montado, pingamos uma gota de detergente sobre o sistema e o que observamos é que todos os objetos de metal caem para o fundo do recipiente.

Há a possibilidade de se observar o que ocorre sobre a superfície da água fazendo este experimento utilizando-se no lugar da água, leite e no lugar do clipe, canela em pó. Pulverizando-se a canela em pó sobre a superfície do leite e depois pingando uma gota de detergente observa-se uma espécie de explosão bidimensional porque entorno do lugar onde se pingou a gota do detergente vê-se que o pó de canela é lançado, numa direção radial para as bordas do recipiente, ou seja, desta forma observa-se o rompimento da película superficial e imediatamente depois o sistema se recompõe.



Fig.4.4. Imagem de uma gilete flutuando por causa da tensão superficial. [37]

4.7 – O Bebedouro e a Pipeta

Temos o conhecimento de que o conceito de pressão por si só é extremamente abstrato, principalmente para a faixa etária com que propomos este trabalho por se tratar de crianças do nível fundamental onde o nível de abstração é muito limitado.

Portanto é coerente expor tal conceito por meio de experimentos onde a principal preocupação é a observância e a discussão do fenômeno antes de se trabalhar a idéia de pressão. Pois muitos alunos conhecem a idéias de pressão por que nas aulas de ciências isto já fora abordado, mas desconhecem a propriedade que a pressão atmosférica é gerada pela força peso do ar de nossa atmosfera.

Para este experimento iremos utilizar:

- Garrafa PET de 2 l, cheia de água.
- Um pote transparente.
- Uma seringa sem êmbolo.

Para fazer o bebedouro, basta embocar a garrafa PET sobre o pote transparente, observa-se que a água não cai, em seguida afasta-se um pouco a garrafa do pote, cerca de 1 cm, observa-se que a água cai até o momento que seu nível toca a boca da garrafa, quando para de cair. Tal processo é repetido tantas vezes forem possíveis até que toda água vaze pela garrafa.

Temos na figura 4.5 a exemplificação deste experimento, onde temos a água em equilíbrio na garrafa por causa à atuação da pressão atmosférica. É interessante fazer um furo em outra garrafa e tampá-lo com um dedo na garrafa emborcada sobre o pote e

ao tirá-lo os alunos poderão observar que a água cai independente da posição da garrafa. Bastando colocar o dedo sobre o furo para evitar-se a saída dela, depois desta parte o professor deve alternar repetidas vezes colocando e retirando o dedo para os alunos observarem que o fluxo de água somente ocorre se o furo estiver destampado.

Outra forma de se observar este fenômeno é a confecção de uma Pipeta, instrumento que obedece a este mesmo princípio, bastando afundar o canudo em um recipiente cheio de água sem tampá-lo para que a água possa entrar nele. Depois disto, tampa-se a parte superior do canudo evitando-se que o ar penetre nele. A seguir basta tirá-lo do recipiente para observa-se que a água não cai. Para uma melhor observação é necessário que a ponta inferior deva ser afinada, pois, desta maneira, a água fluirá mais lentamente no interior da pipeta quando se destampá-la.



Fig. 4.5. Foto de uma seringa que está sendo utilizada com uma pipeta.

4.8 – O Ovo Flutua ou Afunda

Este experimento tem como objetivo principal mostrar que a diferença entre a densidade do fluido e a densidade do objeto é um dos fatores determinantes para a flutuação de objetos sólidos em meio fluido. Para a realização deste iremos utilizar:

- Um pote transparente.
- Sal.
- Um ovo cru.

Ao colocarmos o ovo cru na água pura, percebemos que ele afunda imediatamente. Posteriormente adicionamos gradativamente sal ao sistema quando a quantidade de sal for suficiente o ovo começa a flutuar. A figura 4.6 mostra este

fenômeno. Isto se deve porque misturando sal na água a densidade dela aumenta na medida em que acrescentamos sal ao sistema, conseqüentemente o empuxo do fluido sobre o ovo também aumenta até que em determinado nível de saturação fica igual ao peso do ovo.

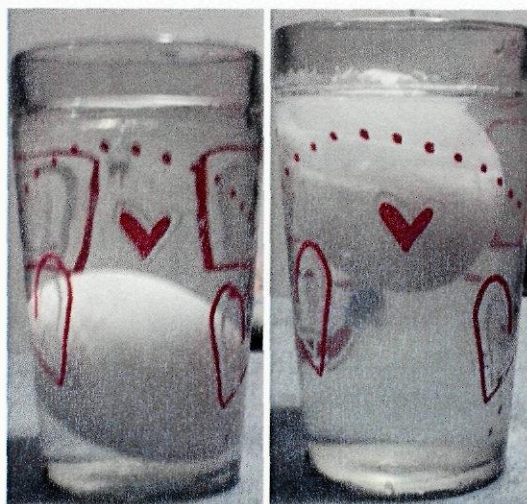


Fig. 4.6. Foto de um copo com um ovo em seu interior em duas situações: na primeira o ovo afunda, pois, é inserido na água pura, na segunda situação, o ovo flutua, pois, foi colocado em uma mistura de água e sal.

4.9 – Tampando a Água Com Papel

Outro modo de se observar a atuação da pressão atmosférica e sua relação com a força é a realização deste experimento seja pela clareza com que esta relação é demonstrada, seja pela inegável conclusão chegada sem muitos atropelos de que somente a água é quem poderia estar segurando o fluido, ou seja, exercendo uma força sobre o fluido.

Para este experimento iremos utilizar:

- Um copo de paredes rígidas.
- Uma folha de papel.
- Um pouco de água.

Coloca-se um pouco de água no copo, não é necessário encher o copo até a boca, mas a quantidade de água não deve ser muito reduzida, a seguir, tampa-se o copo com a folha de papel esperando que ele absorva um pouco da água da borda. Depois se

coloca a mão sobre o papel e vira-se o copo de cabeça para baixo. Após verificar se o papel está ou não vedando completamente a boca do copo e solte a mão, nota-se que a água não cai porque o papel funciona como uma película de apoio para a atuação da pressão atmosférica.

É importante notar que esta prática possibilita a explicação de duas coisas: primeiro que a pressão diferentemente da força peso atua em todas as direções, inclusive de baixo para cima. A segunda é que ele atua como um instrumento facilitador do aprendizado quando se deseja estabelecer a relação entre força e pressão como a que aparece no capítulo II como $F = P A$.

Isto ocorre porque a pressão do ar aprisionado no copo mais a pressão da coluna líquida se igualam com a pressão do ar atmosférico, com o equilíbrio estabelecido a água não tem porque cair. É importante observar que há também um fator fundamental para a realização do experimento que é a dimensão do copo, pois, há tensão superficial de uma pequena quantidade de água que impede a invasão do ar paralelamente ao plano do papel, pois se fizéssemos o experimento com um balde, esta tensão não seria suficientemente grande para impedir a entrada de ar, inviabilizando o experimento. É bastante proveitoso utilizar outros materiais como filme de plástico invés do papel porque para observar nele a concavidade voltada para baixo como se o ar quisesse a todo custo penetrar pelo copo além do fato de que o papel, ao absorver a água, passa a permitir a entrada de ar desestruturando o esquema.

Abaixo temos uma imagem (figura 4.7), que mostra o fenômeno descrito acima nele utilizamos uma tampa de papelão para segurar a água.

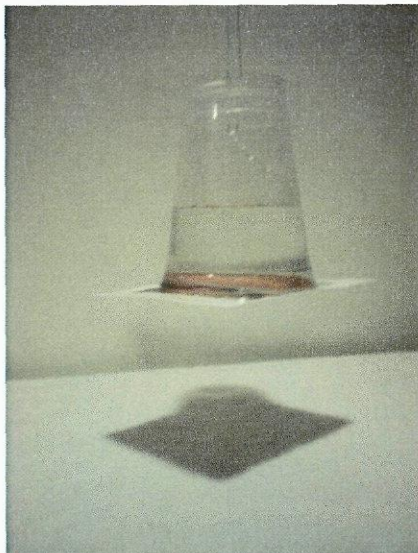


Fig. 4.7. Foto da experiência do copo com água observe que a água não cai.

A figura 4.8 é uma foto que mostra uma variação possível do referido experimento onde o que foi utilizado para bloquear a passagem da água foi uma peneira. A superfície formada pela tensão superficial da água imediatamente sobre a peneira funciona tal como uma superfície qualquer, o que possibilitou que as pressões internas e externas se igualassem.

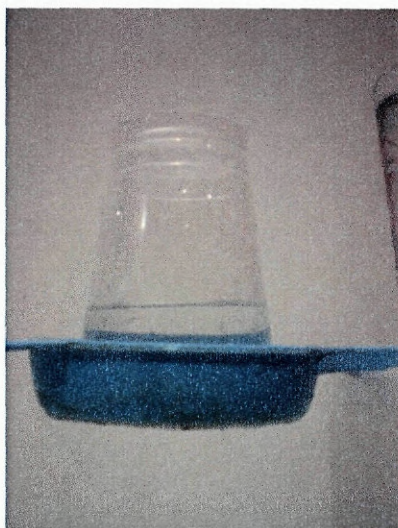


Fig. 4.8-.Foto de uma variação do experimento do copo feita desta vez com uma peneira.

4.10 – A Chama que Suga a Água e Amassando a Lata de Refrigerante

Estes experimentos são extremamente importantes porque mostram a relação direta entre força e a diferença de pressão atmosférica, além de servir como modelo exemplificador de que um fluido caminha no sentido de ir de uma zona de alta pressão para uma zona de baixa pressão. Para sua realização iremos utilizar:

- Um copo grande de vidro.
- Um pote transparente que comporte o copo de vidro de cabeça para baixo.
- Uma vela.
- Caixa de fósforos.
- Um pouco de água.

- Uma lata de refrigerante.

Primeiramente acendemos a vela e a prendemos no interior do pote, depois acrescentamos água no interior do pote aproximadamente até a metade da sua capacidade. Em seguida colocamos o copo de cabeça para baixo a fim de que a vela esteja contida em seu interior. A chama da vela consome o oxigênio rarefazendo o ar ao seu redor quando ela se apaga, o ar que antes havia se expandido, agora se contrai, com isto, a pressão interna fica menor do que a pressão externa então a pressão atmosférica empurra a água para o interior do copo até que a pressão interna e a externa se equilibrem.

O mesmo ocorre na experiência de amassar a lata com a ajuda da pressão atmosférica. Colocamos água em seu interior, cerca de um quinto da sua capacidade, depois colocamos a lata com água sobre uma chama até que toda água evapore. Em seguida, com o auxílio do pegador colocamo-la emborcada sobre o pote com um pouco de água no fundo, o que presenciamos é que a pressão atmosférica, neste caso, é maior do que a pressão no interior da lata, então vemos a lata ser amassada.

Porque ao aquecer a lata até que toda água evapore saindo dela, produziu-se um aumento na pressão interna fazendo o ar expandir. Quando colocamos o sistema no pote com água esta o resfria rapidamente fazendo o ar se contrair e ao ocorrer isto, a pressão interna fica menor do que a pressão externa à lata, então o que vemos é a pressão atmosférica esmagar a lata.

4.11 – O Ludião e o Funcionamento do Submarino

O Ludião é um tipo de sistema hidrostático onde podemos ajustar a profundidade de seu compartimento móvel (localizado em seu interior) aumentando ou diminuindo a pressão interna dele. Para fins didáticos podemos dizer que ele é uma espécie de sensor de pressão.

A principal finalidade se trabalhar com este instrumento é a fácil confecção e manuseio, além de sua capacidade de propiciar a visualização a título de ilustração do que ocorre no interior de um submarino.

Para a confecção deste experimento iremos utilizar:

- Uma garrafa PET de 2 l.
- Uma seringa de Insulina.
- Massa de modelar ou clipes de papel.

Antes da realização do experimento é necessário, contudo, calibrar todo o conjunto. Primeiramente retiramos o pistão da seringa e cortamos boa parte para não desestabilizar a seringa quando ela se movimentar. Depois colocamos pedaços de clipes de metal, gradativamente até atingirmos uma flutuação estável e que suas hastes horizontais fiquem rentes ao nível do recipiente. A seguir tampamos a extremidade superior dela com o pedaço que sobrou do pistão. Neste experimento utilizamos a seringa de insulina (1 ml) porque esta passa bem pela boca da garrafa.

Sabemos que a condição de flutuação está relacionada a duas forças que atuam no sistema: Empuxo e o Peso. Quando o empuxo é igual ao peso do objeto ele flutua, porém se o empuxo for diferente do peso, ele pode subir, caso o empuxo seja maior do que o peso, ou descer, caso o empuxo seja menor do que o peso do objeto. Assim podemos controlar o peso da seringa, pois, ao pressionarmos a garrafa a pressão interna aumenta, este acréscimo é transmitido igualmente a todo o fluido confinado, (lei de Pascal) e o volume de ar no interior da seringa diminui, facilitando a entrada da água em seu interior, e assim aumentando o peso do conjunto fazendo a seringa descer. Mas ao soltarmos a garrafa, a pressão no interior dela volta à normal, então o volume de ar aumenta expulsando a água do interior da seringa.

A única função da massa de modelar seria aumentar, se necessário fosse, a massa do sistema a fim de fazer a seringa flutuar rente ao nível da água. A montagem com a seringa é didática porque através dela pode-ser observar quanto de água entrou para uma determinada profundidade atingida. Com este experimento é fácil a compreensão de que a força de empuxo é vertical e para cima e seu efeito impressiona por que o movimento ocorre sem contato direto com a seringa. Uma foto (figura 4.9) de um ludião por mim confeccionado ao trabalhar com alunos do ensino fundamental o conceito de empuxo.



Fig. 4.9. Neste experimento equilibramos a seringa praticamente no meio da garrafa.

4.12 – O Sifão

Um sifão é um dispositivo utilizado para transportar um líquido de uma altura para outra mais baixa, passando por um ponto mais alto. Seu funcionamento independe da utilização de energia elétrica, pois, ele aproveita a diferença de pressão existente entre os dois planos para transportar a água. Para realizar o experimento do sifão iremos utilizar:

- Uma mangueira de plástico transparente.
- Dois potes transparentes, um com água e outro sem. Podendo ser duas garrafas PET de 2 l.
- Um banco.

Enchemos completamente a mangueirinha com água e mantendo uma das extremidades tampada com o dedo (efeito pipeta) colocamos a outra extremidade no recipiente com água que já se encontra sobre o banco, em seguida colocamos a extremidade tampada no recipiente vazio, que se encontra em um nível abaixo do recipiente que contém água. Então, se destampa a mangueira, observa-se que a água flui do recipiente mais acima para o recipiente mais abaixo.

Isto ocorre por causa da altura entre o nível do recipiente e o nível da saída de água. Pois pela Lei de Steven, esta diferença na altura promove uma diferença de pressão. Propriedade facilmente verificada quando pegamos o recipiente mais abaixo e variamos a sua altura. Quando o nível de água nos dois recipientes se iguala o fluxo de

água cessa e quando elevamos este recipiente a um nível acima do outro, verificamos que o sifão funciona ao contrário. A figura 4.10 ilustra este fato, observe o fluxo só ocorre enquanto há diferença entre os dois níveis, pois quando eles se igualam o fluxo cessa experimento realizado em sala de aula (vasos comunicantes).

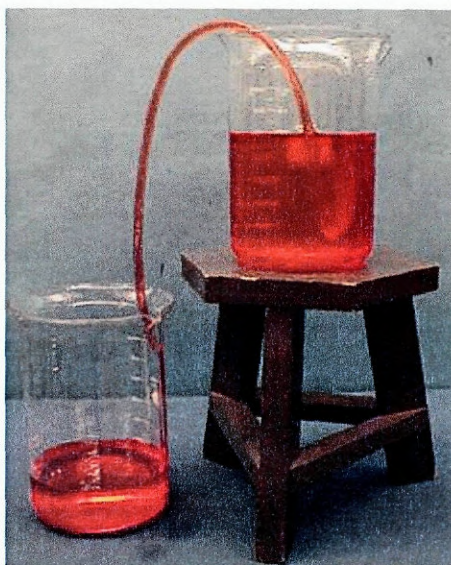


Fig.4.10. Foto de um sistema que funciona como sifão. [38]

4.13 – Velocidades do Jato de Água com a Profundidade

Este experimento seve para ilustrar tanto a Lei de Steven, como para ilustrar a fórmula de Torricelli, que relaciona a velocidade do jato de água com sua profundidade.

Para a realização deste, iremos utilizar:

- Uma garrafa PET de 2 l com a parte superior cortada.
- Uma agulha.
- Régua.
- Alicate.
- Fita adesiva.
- Um pouco de água.

Com o auxílio da régua, fazemos marcações regulares de onde faremos os furos, é conveniente que tais furos não sejam alinhados para que quando passarem pelo ponto de intersecção os jatos não se cruze, atrapalhando o experimento, outra

consideração a se fazer é que o sistema deve ser colocado sobre uma bancada para que o tempo de queda seja maior e que os alunos possam ver com mais clareza a curva da parábola. Depois de furada a garrafa, tampamos os furos com a fita adesiva e preenchemos seu interior com água. Uma vez feito isto, retira-se a fita adesiva e observa-se que a parábola descrita pelo furo inferior atinge um ponto mais distante do que a parábola do furo superior. Abaixo temos uma foto (figura 4.11) do experimento descrito acima, por hora, a velocidade do jato de água é compreendida como maior ou menor pelo alcance de cada parábola.

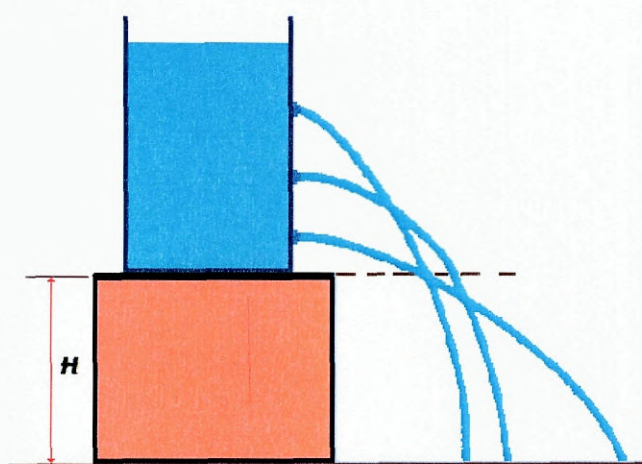


Fig.(e) Conforme a intuição!

Fig. 4.11- Ilustração do que ocorre quando furamos a garrafa PET em três alturas diferentes, observe que onde o furo é mais profundo o alcance é maior. [39]

4.14 – Sustentação Dadas Pelo ar em Movimento

Ao ensinarmos alguns conceitos de hidrodinâmica fica muito mais fácil a compreensão de seus conceitos por meio da experimentação. Principalmente quando trabalhamos com a equação de Bernoulli, quando afirmamos que a pressão de um fluido ocorre à razão inversa da sua velocidade. Neste experimento nossa intenção é mostrar esta propriedade modelando a asa de um avião, para isto iremos utilizar:

- Uma garrafa PET de 2 l.
- Cartolina.
- Arame.
- Cola.

- Canudinhos
- Um ventilador (para produzir as correntes de ar).

Primeiramente, cortamos a garrafa PET em suas extremidades a fim de se aproveitar sua parte cilíndrica como um tubo, quanto menos ondulações a garrafa tiver na lateral, melhor. Cortamos uma tira de cartolina, de (5 cm por 15 cm) e a dobramos pela metade, em seguida, passamos cola ao longo de 1 cm da sua extremidade interna e a colamos a uns 2 cm da outra extremidade. Depois, fizemos furos na cartolina, de modo que os canudos de refresco passassem justos e os colamos nela, mantendo-a encurvada. Na garrafa PET fizemos dois furos em sua extremidade inferior e dois rasgos em sua parte superior para que pudéssemos passar o arame e ajustá-lo na direção do vento, então passamos o arame pelos canudos. A figura 4.12 representa o modelo supracitado.

Sabemos pela equação de Bernoulli, que a massa de ar que irá passar pela parte de superior da asa terá que percorrer um espaço maior que a massa de ar que irá passar pela parte de baixo. Por este motivo, terá que percorrer este espaço com maior velocidade, para acompanhar o bloco de baixo. Com isso, produzirá uma pressão de valor menor que a pressão exercida na parte de baixo da asa.

Esta diferença de pressão gera uma força que empurra a asa para cima, já que esta força depende da pressão pela relação:

$$F = PA$$

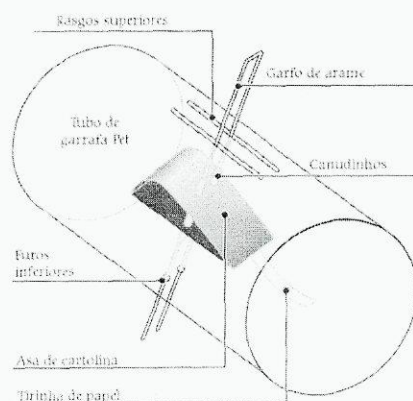


Fig. 4.12. Ilustração do esquema do experimento. [40]

4.15 – Fenômenos de Venturi

Como vimos o fenômeno de Venturi, como vimos no capítulo II, mostra que a pressão em um determinado ponto do tipo por onde determinado fluido escoar é inversamente proporcional a sua velocidade naquele ponto. No intuito de ilustrar o fenômeno de Venturi proporei o experimento que mostra como construir um borrifador, para isto, iremos utilizar:

- Tubo de PVC (20 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento).
- Canudo fino (com 10 cm de comprimento).
- Balão de aniversário.
- Vasilhame com água.
- Cola instantânea.
- Alicates universais.
- Chave de fenda fina.
- Fonte de calor

Colocamos o meio do tubo sobre a fonte de calor, girando-o até amolecer. Em seguida, pegamos rapidamente o alicate e estrangulamos a parte amolecida do tubo. Assim que ficar rígido, fizemos um pequeno furo, usando chave de fenda, no lugar indicado na figura 4.13 e inserimos, aproximadamente, um centímetro do comprimento do canudo no furo. Colamos o canudo “nas paredes” do furo e vedamos o local. Depois, prendemos a boca do balão numa extremidade do tubo e o enchemos pela outra, mantendo a ponta do canudo fechada. Quando o balão estiver bem cheio, enrolamos sua ponta, para bloquear a saída do ar, e liberamos a ponta do canudo e depois soltamos o pescoço do balão. Observamos que a água é aspirada indo em sentido contrário ao da atração gravidade. A figura 4.13 é uma ilustração simplificada deste experimento.

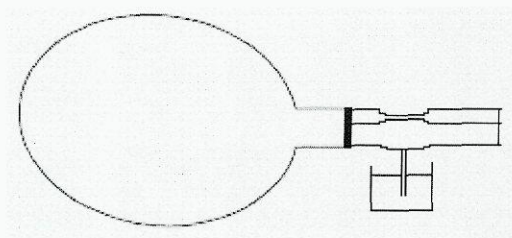


Fig. 4.13. Experimento de um borrifador, ao liberar o ar a água sobre a coluna sendo pulverizada em sua superfície, consequência do fenômeno de Venturi. [41]

O fenômeno de Venturi mostra que o escoamento de um fluido no interior de um tubo horizontal de seção transversal variável, nos pontos de estrangulamento, onde a velocidade de escoamento do fluido aumenta, a pressão diminui. Sendo assim, o ar, ao mover-se na região estrangulada do tubo, ganha velocidade e perde pressão. A pressão externa, maior do que a interna, faz com que a água suba pelo canudo.

A figura 4.14 mostra outro experimento que podemos fazer para verificar este fenômeno. Ele é constituído, basicamente, por um funil, uma bola de ping pong e um compressor de ar. Ao prendermos a saída de ar do compressor ao funil o ar que antes estava comprimido, ao passar pelo funil se expande ao sair dele. A velocidade com que o ar sai do tubo é grande, quando este jato de ar bate na bolinha freando a velocidade do jato naquela região. Esta frenagem brusca produz uma zona de alta pressão que é suficiente para equilibrar a bolinha no ar. Mas quando colocamos a bolinha próxima à saída de ar observamos que ela fica presa ao funil. Isto se deve porque nesta região cria-se uma zona de baixa pressão por causa da saída do ar e como a pressão atmosférica é maior do que a pressão nesta região, ela empurra a bola no sentido de ir contra o funil, independente da posição dele, ou seja, este efeito é visto ainda que viremos o sistema de cabeça para baixo.

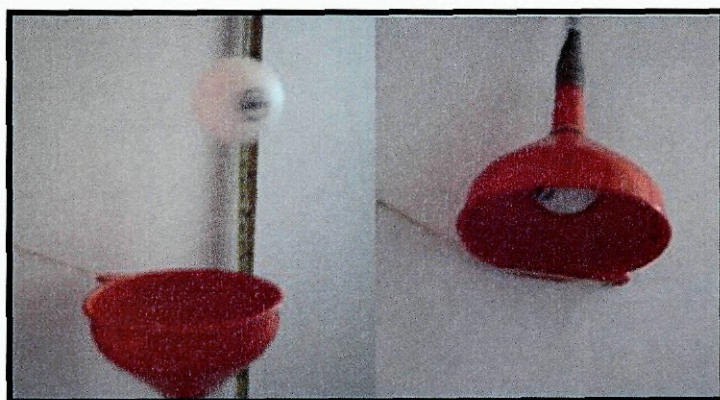


Fig. 4.14. A foto mostra outro experimento onde é aplicado o conhecimento deste fenômeno, observe que a bola não cai mesmo virando o funil de cabeça para baixo.

5 – CONCLUSÃO

A idéia de se ensinar conteúdos para alunos de ensino fundamental conceitos que ainda são abordados no ensino médio parece uma idéia difícil de ser aplicada. Contudo, ao observarmos os resultados obtidos nos questionários constatamos que há uma mudança na forma que o aluno tem de observar um determinado fenômeno antes e depois deles serem abordados pelo professor. Principalmente pelo fato de que antes, ao observar um fenômeno, alguns alunos responderam que o experimento, na verdade, se tratava de um truque realizado pelo professor, questão três, mas depois de discutido com esta turma e apresentado o método, os alunos mudaram esta concepção compreendendo que o fenômeno estava relacionado à pressão atmosférica.

Outro aspecto observado foi que antes da aplicação do método, as respostas dos alunos estavam mais vagas, muitos responderam qualquer coisa que lhes vinha à mente sem desenvolver nada da sua idéia como, por exemplo, nas questões quatro e cinco observamos que muitos atribuíram a flutuação ao fato destes objetos possuírem motor.

Também era incrível a quantidade de alunos que no oitavo ano insistiam em dizer que matéria é alguma coisa necessariamente sólida, questão um, mostrando até certo ponto surpresa em descobrir os outros estados que ela poderia assumir.

Mas depois de discutirmos em sala os conceitos, observamos que as respostas ficaram mais uniformizadas e também houve maior tentativa de explicar o que ocorria para justificar por que o navio flutua ou porque o helicóptero poderia voar. Alguns fizeram um desenho, no caso do helicóptero, mostrando uma espécie de força ascendente que o levantaria.

Obviamente seria impossível trabalhar todos os aspectos desejados com um período tão restrito para a aplicação do método. Apesar disso, mesmo com um encontro semanal de cinquenta minutos conseguimos abordar muitos aspectos daquilo que desejávamos. Muito da formalização dos conceitos físicos foram adaptadas para que eles pudessem compreender no espaço de tempo reservado, e por isso o nível de discussão não pode ser aprofundado tanto quanto se desejava. Mas mesmo com estas restrições tivemos condições de compreender melhor o universo destes alunos e de plantar neles a semente da ciência.

Ou seja, tivemos condições de, em um curto espaço de tempo, apresentar-lhes o universo científico de uma maneira mais próxima do universo deles. Pois durante este

processo tivemos condições de montar experimentos juntos, de observar o interesse da parte deles de manusear o experimento, houve também uma mudança em seu vocabulário, também houve mudanças no tipo de perguntas que faziam acerca de determinado fenômeno.

Portanto, neste sentido, acreditamos ter alcançado o objetivo deste trabalho. Apesar de que não tivemos espaço para com eles fazer experimentos onde pudéssemos coletar dados toda a mudança comportamental observada por mim por parte de como os alunos lidavam com o experimento nos mostra o êxito que tivemos em trabalhar conceitos com ajuda de atividades experimentais. Além disso, este trabalho nos permitiu extrair boas críticas a cerca do processo ensino-aprendizagem em como os alunos concebem esta parte da física, e nos ensinou como desenvolver nos alunos a habilidade de manusear alguns experimentos e de fazê-los extrair, a partir destes experimentos, conceitos, ou seja, entender o funcionamento de determinados sistemas a partir da observação e reflexão acerca do assunto, habilidade que no decorrer da sua vida será extremamente útil para a compreensão e elucidação de vários problemas.

E, principalmente, promover e mudança no olhar, antes o mundo da ciência era algo quase que mágico e inacessível, falar sobre ciência era como falar de alguma coisa fora de suas realidades. Agora percebemos que este mundo está um pouco mais próximo de suas vidas, agora já se vêem como parte, uma pequena célula do todo que a ciência representa.

REFERÊNCIAS

- [1] – Site IBGE: http://www.ibge.gov.br/series_estatisticas/exibedados.php?idnivel=BR&idserie=COM10116 - (25/06/2010).
- [2] – LDB, art 3, III – lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996.
- [3] – PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS (ENSINO MÉDIO) Parte I - Bases Legais, 1998.
- [4] – Luiz, A. M. Gouveia, S. L. Elementos de Termodinâmica. - Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.
- [5] – Alberto Gaspar, Mecânica, capítulo 20. Editora Ática, 2000.
- [6] – Nussenzveig, H. M. – *Curso de Física Básica* – Editora Edgar Blücher, São Paulo, 2002.
- [7] – BONADIMAN, H. – *Mecânica dos Fluidos: experimento, teoria, cotidiano* – (Editora UNIJUÍ, 1989).
- [8] http://3.bp.blogspot.com/_fs4X2Qr4o3s/SeZQFpPoYDI/AAAAAAAAA_4/DfduItYJJQc/s400/f14.jpg (25/06/2010).
- [9] – <http://www.lrm.ufjf.br/pdf/07cisalhamento.pdf> (25/06/2010).
- [10] http://hermes.ucs.br/ccet/defq/naeq/material_didatico/textos_interativos_27.htm (25/06/2010).
- [11] – http://cienciaetc.blogspot.com/2009_05_21_archive.html (25/06/2010).
- [12] – <http://www.fotosearch.com.br/IST503/1158620/> (25/06/2010).
- [13] – <http://www.infoescola.com/fisica/vasos-comunicantes/> (25/06/2010).
- [14] <http://www.brasilecola.com/quimica/mistura-e-substancias-puras.htm> (25/06/2010).
- [15] – Revista Brasileira do Ensino de Física vol.30 no.3 São Paulo July/Sept. 2008 Epub Aug 21, 2008. (25/06/2010).
- [16] – Halliday, D., Resnick, R. e Walker J. – *Fundamentos de Física* – (Editora LTC, Rio de Janeiro, 1996), v.2.
- [17] – http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/apostila_unidade%203.htm (25/06/2010)
- [18] – http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Tomar_December_2008-4.jpg (25/06/2010)

[19]http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/energia_hidraulica/energia_hidraulica.htm (25/06/2010).

[20]<http://semiraadlervainsencher.blogspot.com/2009/05/pilao-e-monjolo.html> (25/06/2010).

[21] – Filho, G. L. T. Carneiro hidráulico: O que é e como construí-lo. Editora: CERPCH – 2002.

[22]http://www.artistaseartes.com.br/sub_paginas.php?pagina=17207&menu=57 (25/06/2010).

[23]<http://www.brasilecola.com/fisica/principio-de-pascal.htm> (25/06/2010).

[24]<http://www.solostocks.com.br/img/prensa-hidraulica-30-tons-marcon-277610z0.jpg> (25/06/2010).

[25] – <http://ciencia.hsw.uol.com.br/jaws-life.htm> (25/06/2010).

[26] –<http://ciencia.hsw.uol.com.br/jaws-life3.htm> (25/06/2010).

[27]http://www.pedalokos.com/arquivos/catalogo/14/96xc5_FREIO%20AURIGAbmp. (25/06/2010).

[28]http://br.olhares.com/10a_travessia_de_portugal_balao_de_ar_quente_foto1877086.html (25/06/2010).

[29] –<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20021/Angelisa/porqueonavioflutua.html> (25/06/2010).

[30] – <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/submarino/submarino.php> (25/06/2010).

[31] – <http://fisicomaluco.com/wordpress/wp-content/uploads/2009/06/pitot.jpg> (25/06/2010).

[32] – http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula1_unidade5.htm (25/06/2010).

[33] – <http://ciencia.hsw.uol.com.br/avioes1.htm> (25/06/2010).

[34] – PCN's, página 25. Ver referência [3].

[35] – <http://educacao.uol.com.br/quimica/ult1707u35.jhtm> (25/06/2010).

[36] – <http://www.feiradeciencias.com.br/sala07/index7.asp> (25/06/2010).

[37]http://www.cienciamao.if.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_i1602 (25/06/2010).

[38] http://w3.ualg.pt/~pjsilva/guias/Guia%20do%20Sifão1_ficheiros/image001.jpg (25/06/2010).

[39] – http://www.feiradeciencias.com.br/sala07/07_62.asp (25/06/2010).

[40] – Trabalho: Souza, Alan Gonçalves, Carvalho, Eron Falcão e Oliveira, Filipe Machado Borges – *Apresentação de esquemas simples que explicam a sustentação do voo de aviões*.

[41] – <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num1/v5n1a12.pdf> (25/06/2010).

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

[1] – Alvarenga, B. e Máximo, A. – *Curso de Física* – (Editora Scipione, São Paulo, 2000) 9ª ed.

[2] – Gaspar, A. – *Física* – (Editora Ática, São Paulo, 2000) v. 1, 1ª ed.

[3] – Boa, M. F. e Guimarães, L.A. – *Física* – (Editora Futura, São Paulo, 1996), v.1.

[4] – Ferraro, N. G. e Soares, P.A. de Toledo – *Física* – (Editora Atual, São Paulo, 2008) 2ª ed.

[5] – Luiz, A.M. e Gouveia, S.L. – *Física* – (Editora Francisco Alves, Rio de Janeiro, 1989).

[6] – Halliday, D., Resnick, R. e Walker J. – *Fundamentos de Física* – (Editora LTC, Rio de Janeiro, 1996), v.2.

[7] – Filho, T., Lúcio, G. e Viana, A. N. Carvalho – *Carneiro Hidráulico* – (Editora EFEI, 1988).

[8] – Nussenzveig, H. M. – *Curso de Física Básica* – (Editora Edgar Blücher, São Paulo, 2002) v. 2, 4ª ed.